

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Aplikace metod technické diagnostiky na výrobních zařízeních

Applying Methods of Technical Diagnostic
on Production Devices

Student:	Bc. Vojtěch Pospíšil
Osobní číslo:	POS0203
Vedoucí diplomové práce:	Ing. David Šeděnka

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vojtěch Pospíšil**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Aplikace metod technické diagnostiky na výrobních zařízeních**
Applying Methods of Technical Diagnostic on Production Devices

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce se zabývejte problematikou technické diagnostiky strojního zařízení výrobního závodu. Rozeberte tuto problematiku, navrhněte a zvažte vhodné metody pro sledování jejich technického stavu. Popište přístrojovou techniku a softwarové nastavení pro tuto aplikaci. Proveďte potřebná měření a vyhodnocení naměřených dat.

V rámci zadání zpracujte:

1. Režerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Rozsah práce min. 45 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU

Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

FS_SME_05_003 *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce* Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2018. 20 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Šeděnka**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020

.....*Bohumír Tajlich*.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020

.....*Pospíšil Tajlich*.....

Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POSPÍŠIL, V. *Aplikace metod technické diagnostiky na výrobních zařízeních: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 77 s. Vedoucí práce: Šeděnka, D.

Cílem diplomové práce je určit technický stav klíčových prvků hydraulického systému výrobních zařízení – elektromotorů, zubových čerpadel a hydraulického oleje. V úvodu jsou popsány metody technické diagnostiky a následně jsou vybrány vhodné metody pro diagnostická měření. Hydraulické prvky, které jsou předmětem měření, jsou znázorněny na obrázcích a popsány technickými parametry. Výsledky z měření jsou zpracovány a vyhodnoceny.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

POSPÍŠIL, V. *Applying Methods of Technical Diagnostic on Production Devices: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 77 p. Thesis head: Šeděnka, D.

The goal of the master thesis is to determine the technical condition of the key elements of the hydraulic system of production devices – electric motors, gear pumps and hydraulic oil. In the introduction, the methods of technical diagnostics are described and then suitable methods for diagnostic measurements are selected. The most important hydraulic elements are shown in the figures and described with technical parameters. The results of the measurements are processed and evaluated.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod.....	10
1 Metody technické diagnostiky	11
2 Vibrodiagnostika.....	12
2.1 Výchylka vibrací	13
2.2 Rychlost vibrací	14
2.3 Zrychlení vibrací	15
3 Tribodiagnostika	17
3.1 Kinematická viskozita	18
3.2 Obsah vody.....	20
3.3 Kód čistoty	21
3.4 Rentgenová spektrometrie.....	23
3.5 Spektrální analýza FT – IR	24
4 Popis hlavních částí hydraulického agregátu na výrobních zařízeních DKB	25
4.1 Elektromotory	27
4.2 Zubová čerpadla	28
4.3 Hydraulický olej.....	29
5 Vibrodiagnostika výrobních zařízení DKB	30
5.1 Měřicí přístroj ADASH 4900 - Vibrio M	30
5.2 Mezní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací.....	32
5.3 Vyhodnocení měření na DKB A5	33
5.3.1 Elektromotor (Bod 13, 14).....	34
5.3.2 Zubové čerpadlo (Bod C 13-14).....	37
5.3.3 Elektromotor (Bod 15, 16).....	39
5.3.4 Zubové čerpadlo (Bod C 15-16).....	41
5.4 Vyhodnocení měření na DKB A12	42
5.4.1 Elektromotor (Bod 5, 6).....	42

5.4.2	Zubové čerpadlo (Bod C 5-6)	47
5.4.3	Elektromotor (Bod 7, 8).....	48
5.4.4	Zubové čerpadlo (Bod C 7-8)	49
5.5	Vyhodnocení měření na DKB A14	51
5.5.1	Elektromotor (Bod 91, 92).....	52
5.5.2	Zubové čerpadlo (Bod C 91-92)	55
5.5.3	Elektromotor (Bod 93, 94).....	56
5.5.4	Zubové čerpadlo (Bod C 93-94)	58
6	Tribodiagnostika výrobních zařízení DKB	59
6.1	Vyhodnocení měření na DKB A5	60
6.2	Vyhodnocení měření na DKB A12	63
6.3	Vyhodnocení měření na DKB A14	66
7	Závěr	70
8	Seznam použité literatury	71
	Seznam obrázků	73
	Seznam tabulek	76
	Seznam příloh	77

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
a	zrychlení vibrací	$\text{g}, \text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$
a_{RMS}	efektivní hodnota zrychlení vibrací	$\text{g}, \text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$
c	konstanta viskozimetru	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
f	frekvence	Hz
f_{ot}	otáčková frekvence	Hz
f_z	zubová frekvence	Hz
n	otáčky	min^{-1}
t	čas	s
τ	čas naměřený mezi dvěma ryskami viskozimetru	s
v	rychlost vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
v_k	kinematická viskozita	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
v_{RMS}	efektivní hodnota rychlosti vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
x	okamžitá výchylka vibrací	mm
z	počet zubů	-
API	American Petroleum Institute (Americký ropný institut)	
ČSN	Česká státní norma	
DDS	Digital Diagnostics Systém (Digitální diagnostický systém)	
DIN	Deutsche Industrie-Norm (německá průmyslová norma)	
DKB	Doppelkopf Biegemaschine (ohýbačka s dvojitou hlavou)	
EN	Evropská norma	
FFT	Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova Transformace)	
FT-IR	Fourier Transform InfraRed (Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací)	
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)	
LED	Light-Emitting Diode (světelná dioda)	
MPC	Membrane Patch Colorimetry (vyhodnocení barvy membrány)	
RMS	Root Mean Square (efektivní hodnota)	
RPM	Revolutions Per Minute (otáčky za minutu)	
ppm	Parts per million (jedna miliontina z celku)	
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)	
XRF	X-ray fluorescence (Rentgenová fluorescence)	

Úvod

V současné době stále častěji technická diagnostika nachází své uplatnění v širokém spektru průmyslu. Důvodem je, že je čím dál více kladen důraz na provozní spolehlivost strojních zařízení a jejich maximální efektivnost. Výrobní společnosti si v dnešním konkurenčním prostředí a technického pokroku nemohou dovolit nečekané odstávky, způsobené poruchami, respektive neznalostí aktuální kondice výrobních zařízení.

Proto by mělo být důležité pro všechny podniky, aby systém údržby byl postavený především na pilířích preventivní a prediktivní údržby. Preventivní znamená udržívat zařízení v optimálním stavu v předem plánovaných odstávkách, kdy se provádějí nejruznější údržbářské práce podle pracovních postupů. Prediktivní značí, že se stav a následný vývoj zařízení předpovídá. A právě nástrojem prediktivní údržby jsou metody technické diagnostiky, které se používají především u klíčových a drahých strojů, při jejichž výpadku by došlo k velkým ztrátám.

Implementace technické diagnostiky do systému údržby přináší výrobním společnostem značné finanční úspory, protože se vady identifikují ve stádiu abnormalit tzn. ještě před vznikem poruchy jako takové a tím se předejde nečekaným odstávkám. Dalším velkým přínosem je v pracovní efektivitě, tím je myšlena komunikace mezi diagnostikem, manažerem údržby a plánovačem výroby. Při vznikajícím problému na sledovaných zařízení se může po vzájemné dohodě všech zmíněných osob naplánovat odstávka stroje, a tak provést patřičná nápravná opatření v pravý čas.

Z toho všeho plyne, že technická diagnostika je důležitým nástrojem pro zvýšení provozní spolehlivosti, životnosti zařízení, v jisté míře i bezpečnosti a v neposlední řadě snížení celkových nákladů na údržbu strojů.

Celá práce je v souladu se standardy ISO pro automobilový průmysl. Výsledky z praktické části jsou předkládány zákazníkům výrobní společnosti (PSA, BMW, Volvo atd.).

1 Metody technické diagnostiky

Obecně se diagnostika využívá pro získání informací o stavu sledovaného zařízení, a to bez nutnosti jeho odstavení. Mezi nejpoužívanější metody patří: vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, elektrodiagnostika a další. Všechny zmíněné diagnostiky jsou velmi důležitým nástrojem prediktivní údržby. Postupy jednotlivých metod jsou popsány příslušnými normami ČSN ISO a liší se podle typu sledovaných diagnostických parametrů.

Vibrodiagnostika je postavená na měřeních vibrací, které slouží k získání informací o technickém stavu rotačních zařízení. Vibrace vznikají vlivem mechanického kmitání strojních zařízení, kterým se v reálných provozech nelze vyhnout. Využívanou normou pro vyhodnocení celkových hodnot vibrací je ČSN ISO 10 816, která je pro různé typy zařízení jinak definována (odstředivá čerpadla, kompresory, turbíny...) [1].

Pro **tribodiagnostiku** jsou předmětem sledování dvě základní oblasti: stav maziva (jeho degradace) a stav strojního zařízení (lokalizace místa opotřebení). Nositel informací je reprezentativní vzorek provozní náplně, který se podrobí rozborům v tribodiagnostické laboratoři. U maziv se hodnotí fyzikálně chemické vlastnosti, které zjišťujeme pomocí normovaných testů [2].

Termodiagnostika se využívá v různých odvětvích průmyslu, např. ve strojírenství, stavebnictví, elektrotechnice, zdravotnictví, státní správě (policie) apod. Při tomto typu diagnostiky se využívá infračervená termografická kamera. Ta snímá z povrchu zkoumaného předmětu infračervenou energii prezentující barevnou škálu, která odpovídá různým teplotám. Výstupem termokamery je nejčastěji barevný snímek (popř. odstíny šedi), který se nazývá termogram. Dalšími důležitými pojmy v oblasti termografie jsou emisivita a odražená zdánlivá teplota, které jsou spolu s všeobecnými postupy pro termodiagnostiku popsány v normě ČSN ISO 18434-1 [3], [4].

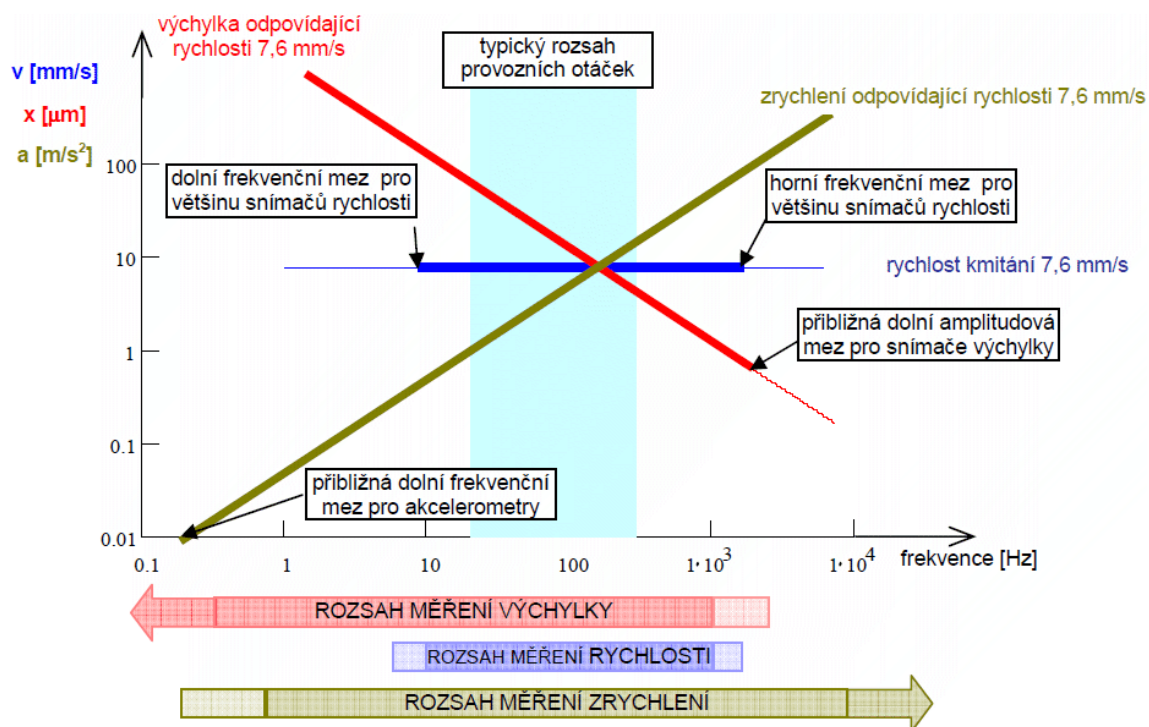
Elektrodiagnostika zkoumá elektrické veličiny, jako jsou napájecí proud, napětí, odpor apod. Uplatňuje se u elektrických zařízení použitím nejrůznějších metod. Například pomocí digitálního multimetru se může zjistit hodnota přechodového odporu vodiče na svorkovnici, taktéž pomocí termokamery lze identifikovat abnormální teplotu ve spoji způsobené přechodovým odporem. I vibrodiagnostika tu má uplatnění, a to pro určení nesymetrie elektromagnetického pole elektromotoru [3], [5].

Pro získání objektivního stavu sledovaného zařízení je téměř nutností použít kombinaci několika uvedených metod, které jsou pak označeny pod pojmem multiparametrická diagnostika. Pro tuto práci byly použity metody vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky, které budou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

2 Vibrodiagnostika

Zjednodušeně řečeno, úkolem vibrodiagnostiky je změřit vibrace, provést analýzu měření, následné vyhodnocení a doporučit nápravná opatření. Vibrace mohou být měřeny jako výchylka, rychlost, či zrychlení. Všechny tyto veličiny jsou na sebe matematicky vázány a používají se každá pro jiný frekvenční rozsah.

Frekvenční rozsah jednotlivých veličin je zobrazen na obrázku 1. Z uvedeného obrázku je patrné, že vysokofrekvenční děje budou zaznamenány pomocí zrychlení a nízkofrekvenční děje pomocí rychlosti nebo výchylky. Pro běžné měření vibrací (pochůzková metoda, popř. on-line měření vibrací) se však většinou využívá rychlost a zrychlení vibrací. Dále je tu uveden příklad při měření rychlosti vibrací, kde hodnota rychlosti vibrací činní 7,6 mm/s v pásmu od 10 Hz – 1000 Hz. Tato hodnota se pro výchylku vibrací s narůstající frekvencí zmenšuje, naopak pro zrychlení vibrací se s narůstající frekvencí zvětšuje [5].

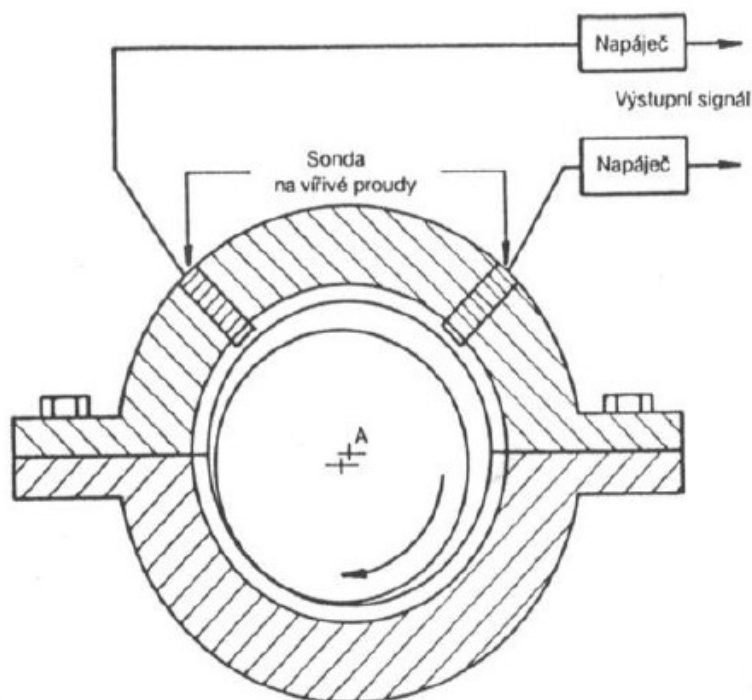


Obrázek 1 – Frekvenční rozsahy měření jednotlivých veličin

Zdroj: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diaagnostiku-opotrebeni-stroju.html>

2.1 Výchylka vibrací

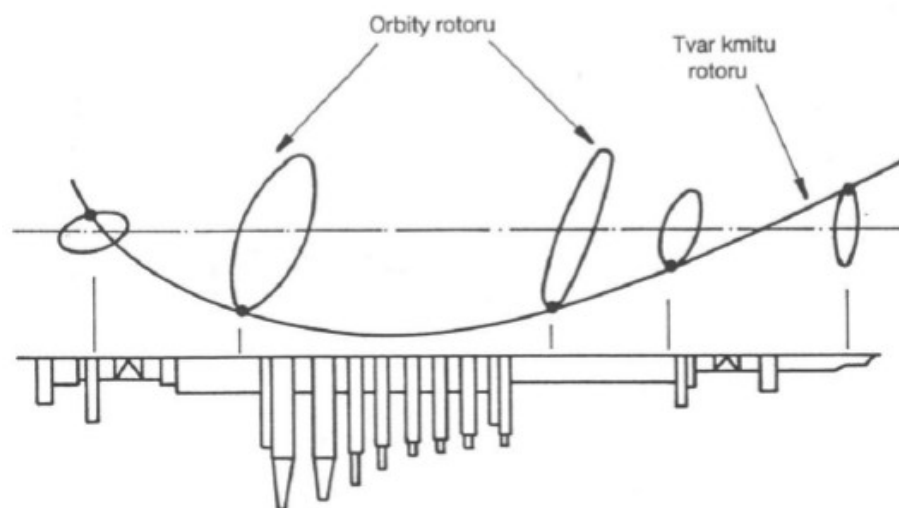
Výchylka vibrací, x , je udávána v milimetrech (někdy i mikrometrech). Pro měření výchylky vibrací se využívají snímače na principu vířivých proudů (často jsou použity dva snímače pootočené o 90° - obrázek 2) [5].



Obrázek 2 – Umístění sond na principu vířivých proudů [3]

Kabely snímačů výchylky vibrací přenáší vysokofrekvenční signál, a proto jsou velice citlivé na parazitní vlivy (poškození kabelu, vnější elektromagnetická pole). Jsou vyráběny v přesných délkách a jejich upravování (zkracování) by mohlo vést k nekorektním výsledkům [5], [7].

V dnešní době se měření výchylky vibrací využívá takřka jen pro měření vibrací hřídelů, respektive relativní výchylky mezi hřídelí a statorové části stroje. Výsledky měření mohou být zobrazeny pomocí tzv. orbitů, kde se využívá spojení signálů z obou měřících sond. Na obrázku 3 je uveden příklad orbitů rotoru turbokompresoru na různých místech hřídele [3], [5].



Obrázek 3 – Zobrazení orbitů rotoru turbokompresoru [3]

2.2 Rychlost vibrací

Další důležitou veličinou při měření vibrací je rychlost, v , a její jednotkou jsou mm/s. Měření se provádí pomocí snímačů rychlosti vibrací nebo akcelerometrů (derivací zrychlení se dostane hodnota rychlosti vibrací), a to v horizontálním, vertikálním a axiálním směru. Snímače rychlosti vibrací pracují na principu elektromagnetické indukce. Uvnitř snímače je cívka, která se pohybuje v magnetickém poli. Použitelný frekvenční rozsah měření rychlosti je od 10 Hz – 1000 Hz. V tomto pásmu jsou i hodnoty rychlosti vibrací vyhodnocovány podle již zmiňované normy ČSN 10816 [5].

Rychlost vibrací přímo souvisí s dynamickým chováním rotačních zařízení při jejich chodu. Pokud jsou naměřeny vysoké hodnoty rychlosti vibrací, může to souviset například s nevývahou, či špatným ukotvením rotačního zařízení, nesouosostí hřídelů, prasklou rotorovou tyčí elektromotoru, nesymetrií elektromagnetického pole na elektromotoru apod. Možných příčin je celá řada [3].

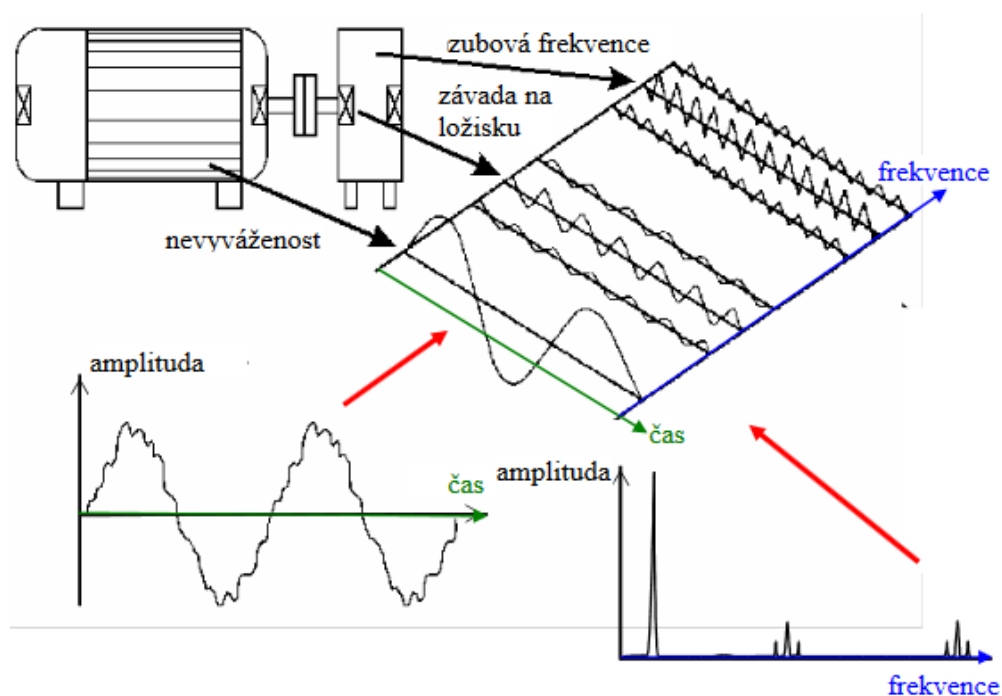
Pro správnou identifikaci zmiňovaných závad je zapotřebí znalost:

- Otáček rotačního zařízení – pro zjištění otáčkové frekvence, která se vypočítá podle vztahu:

$$f_{ot} = \frac{n}{60} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

kde n jsou otáčky motoru [min^{-1}].

- FFT (Rychlé Fourierové transformace) – převádí vibrační signál z časové oblasti do frekvenční oblasti – obrázek 4.



Obrázek 4 – Podstata Rychlé Fourierové transformace [5]

Každá závada se projevuje zvýšenou amplitudou na své charakteristické frekvenci, respektive násobku otáčkové frekvence. Nevývaha se projevuje zvýšenou amplitudou na otáčkové frekvenci, nesouosost na dvojnásobku otáčkové frekvence, nesymetrie elektromagnetického pole na dvojnásobku síťové frekvence apod. Podrobnější rozborů možných závad, které jsou projevem zvýšených hodnot rychlosti vibrací, jsou uvedeny v publikacích [1], [3], [5].

2.3 Zrychlení vibrací

Poslední důležitou veličinou při měření vibrací je zrychlení. Značí se, a , jednotkou jsou mm/s^2 nebo možná častěji používané g . Měření se provádí pomocí akcelerometrů v horizontálním, vertikálním a axiálním směru, které jsou schopny měřit vysokofrekvenční děje a zároveň poukazují na energie tvořené v zařízení.

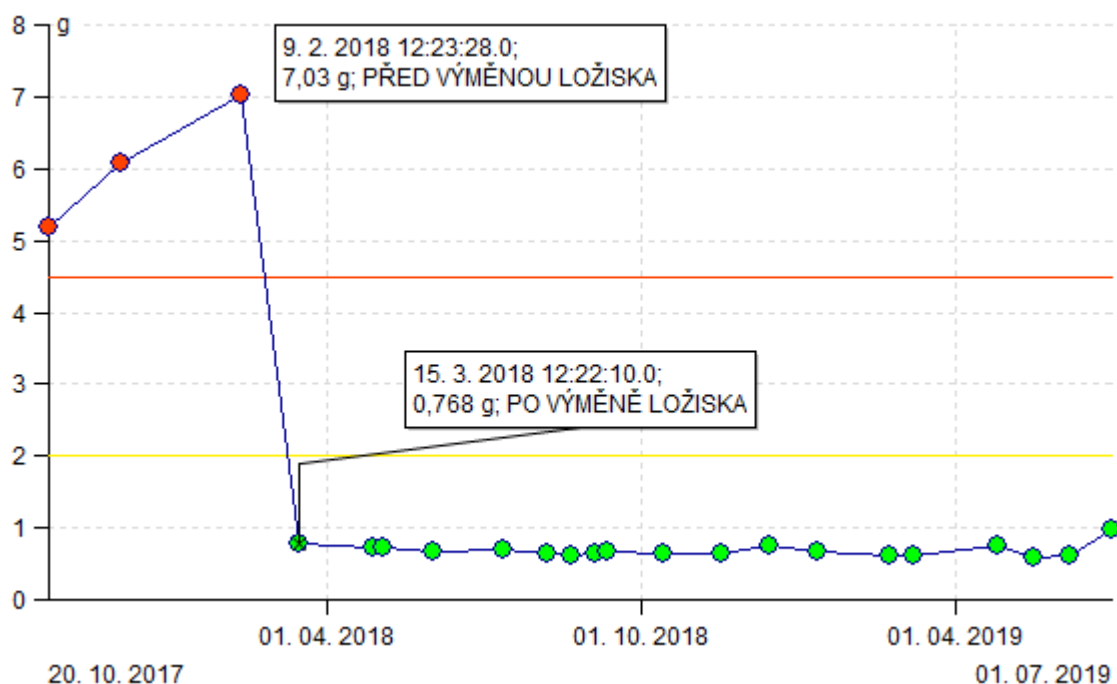
Akcelerometry mají poměrně jednoduchou konstrukci a pracují na principu piezoelektrického krystalu. Skládají se z měřicí plochy, hmoty, piezokrystalu, zesilovače a konektoru. Snímače bývají připevněny na nerotujících částech rotačních zařízení, co nejblíže uložení ložiska. Vlivem působení kmitání se na piezoelektrickém krystalu generuje elektrický náboj, který se dále zpracovává a posléze vyhodnocuje. Podle umístění piezokrystalu a hmoty se akcelerometry dělí na tlakové nebo smykové [1], [3].

Měřit a analyzovat zrychlení vibrací je dobré pro detekci poškození ložisek, převodovek, špatného mazání, projevy kavitace, kolize nástroje při obrábění apod. Pro odhalení zmíněných

závad je velice důležité znát frekvenční spektrum – každá závada se projevuje v jiném frekvenčním pásmu.

Poškození ložiska se může projevovat ve frekvenčním spektru zvýšenými amplitudami do 5000 Hz. Dále se využívá frekvenčního spektra obálky. Ty jsou součástí takřka všech moderních analyzátorů. V nastavení spektra obálky lze zvolit z databáze přesný typ ložiska. Tím se ve spektru obálky zobrazí všechny poruchové frekvence (poškození vnějšího kroužku, vnitřního kroužku, valivých elementů a klece). Pokud ložisko není uvedeno v databázi analyzátoru, měli by výrobci rotačních zařízení uvádět poruchové frekvence ložisek ve svých katalogových listech.

V případě, kdy nejsou známy poruchové frekvence, lze určit začínající poškození ložiska pomocí trendování. K tomu jsou zapotřebí nějaké zkušenosti v oblasti vibrodiagnostiky a mít nadefinované kritické hodnoty pásem. Ty se mohou lišit podle velikosti zařízení (ložiska). Na obrázku 5 je uveden příklad postupného vývoje poškození ložiska a jeho následná výměna.



Obrázek 5 – Postupný vývoj poškozeného ložiska v pásmu 500–16000 Hz [autor]

Další kategorií při měření zrychlení vibrací jsou převodovky, které mohou být tvořeny několika ozubenými koly. Každá vada ozubení vyvolává vibrace. Ať už jde o špatné mazání, pitting (únavové poškození boku zubů), nadměrné zatížení hnacího nebo hnaného kola, nepřesnosti tvaru boků zubů od ideálního profilu – evolventy, špatné broušení apod. Všechny uvedené příčiny vibrací se nejčastěji projevují ve spektrech obálky, a to na zubové frekvenci, která se vypočítá podle vzorce:

$$f_{z12} = z_1 \cdot f_{ot1} = z_2 \cdot f_{ot2} \text{ [Hz]} \quad (2)$$

kde

z_1, z_2 je počet zubů pastorku, kola [–],

f_{ot1}, f_{ot2} je otáčková frekvence pastorku, kola [Hz],

dále na druhých a třetích harmonických násobcích zubové frekvence. Dalším typickým ukazatelem vad ozubení jsou postranní pásma kolem zubové frekvence [1], [8].

Poslední důležitou skupinou možných problémů spojených se zrychlením vibrací může tvořit špatné mazání ložisek, kavitace u čerpadel nebo kolize nástroje při obrábění. Poslední jmenovaný problém lze detekovat ve frekvenčním spektru kolem 1000 Hz, špatné mazání ložisek nebo problémy čerpadel spojené s kavitací se projevuje v pásmu přibližně od 5000 Hz a výše [9].

3 Tribodiagnostika

Další metodou technické diagnostiky je tribodiagnostika, která se řadí spolu s dalšími metodami technické diagnostiky mezi bezdemontážní. Jejím úkolem je zjistit technický stav sledovaného zařízení a též samotného maziva pomocí reprezentativního vzorku oleje. Odebraný vzorek oleje se po sléze podrobí nejrozumnějším zkouškám, které jsou normalizované. Podle toho, zda se jedná o oleje motorové nebo průmyslové, zvolí se adekvátní metody pro zhodnocení stavu samotného maziva i zařízení [2].

V této práci je předmětem hodnocení hydraulický olej, který je řazen mezi průmyslové oleje a je nedílnou součástí celého hydraulického systému. V jisté míře nadsázky by se mohl hydraulický systém přirovnat k lidskému tělu. Potom krví by byl olej, jenž celým systémem zařízení protéká a dopravován by byl čerpadlem neboli srdcem do celého hydraulického systému. Filtry by byly ledvinami a přímočaré hydromotory svaly. Podobně jak je tomu při rozbořech lidské krve nemocného člověka, lze i při analýze vzorku hydraulického oleje určit, zda všechny prvky systému pracují správně, či nikoliv [10].

Pro zhodnocení objektivního stavu výrobních zařízení a samotného hydraulického oleje byly zvoleny tyto testy:

- kinematická viskozita,
- obsah vody,
- kód čistoty,
- rentgenová spektrometrie,
- spektrální analýza.

3.1 Kinematická viskozita

Pro tvorbu této podkapitoly byly využity informace z literatury [2], [3], [11].

Řadí se mezi nejdůležitější, kvalitativní parametry všech olejů, a to jak při třídění, tak při samotném výběru. Kinematická viskozita, ν_k , charakterizuje odpor vůči tečení kapaliny, na kterou působí gravitační síla. Vypočítá se dle vztahu:

$$\nu_k = c \cdot \tau \text{ [mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

kde

c je konstanta viskozimetru [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$],

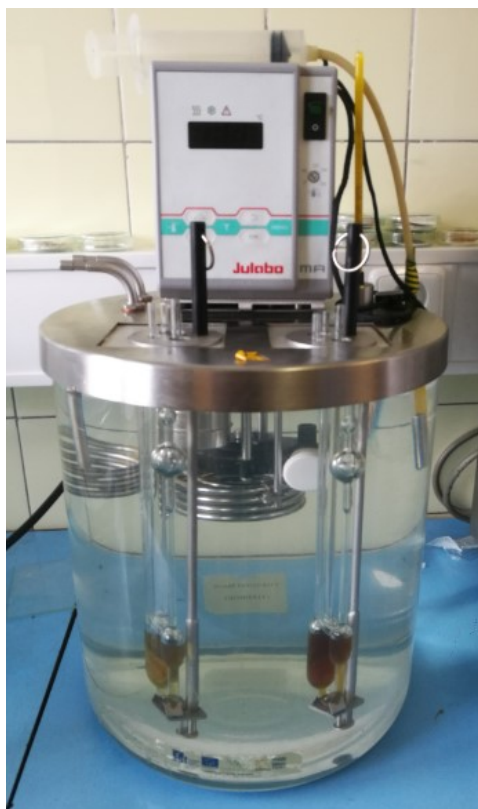
τ je čas naměřený mezi dvěma ryskami viskozimetru [s].

V průběhu používání oleje v provozu může docházet ke zvyšování nebo snižování viskozity. Zvyšování viskozity může být zapříčiněno oxidačními produkty (měkké kaly), mechanickými nečistotami, či vytvářením směsi oxidačních produktů s vodou. Tohle vše pak způsobuje ztráty energie k vůli zvýšenému koeficientu tření. Naopak snižování viskozity je projevem zvýšené teploty oleje, vnikání paliv do mazací soustavy (u motorových olejů), záměnou olejů z vyšší viskozitní třídy na nižší a celkovou degradací aditiv. Nízká viskozita způsobuje mezní až suché tření, kvůli kterému dochází k přílišnému opotřebení, nebo dokonce k zadření třecích ploch.

Při měření kinematické viskozity hydraulického oleje výrobních zařízení byl využit viskozimetr typu Ubbelohde. Postupovalo se dle normy ČSN EN ISO 3104, kde jsou uvedeny všechny potřebné informace. Zpravidla se průmyslové oleje charakterizují při teplotě 40°C. Zařízení, které je schopno zajistit právě tuto teplotu, bývá opatřeno topnou spirálou. Ta vytváří pro testovaný vzorek oleje stálou teplotní lázeň.

Po nalití zkoumaného vzorku do viskozimetru se musí počkat cca 30 minut na teplotní vyrovnání mezi olejem a vodní lázní. Po uplynutí této doby se nasaje olej nad úroveň horní rysky. Vlivem gravitační síly začne olej ztékát z horní úrovně viskozimetru. Měří se čas průtoku mezi horní a dolní ryskou. Součinem tohoto času s konstantou viskozimetru se vypočítá výsledná kinematická viskozita. Pokud výsledek nepřekročí $\pm 10 \%$ od referenční hodnoty (u hydraulických olejů), je kinematická viskozita v pořádku. Jestliže dojde k překročení této hodnoty, je možné olej ještě přefiltrovat, a tak mu navrátit požadované vlastnosti.

Již zmiňované zařízení, které je schopné zajistit stálou teplotu zkoumaného oleje, je uvedeno na obrázku 6.



Obrázek 6 – Zařízení pro stálou teplotu oleje [autor]

Detail viskozimetru, kde je vidět horní a dolní ryska, je uveden na obrázku 7.



Obrázek 7 – Viskozimetr typu Ubbelohde [autor]

3.2 Obsah vody

Pro tvorbu této podkapitoly byly využity informace z literatury [2], [3], [12].

Voda je téměř vždy v určitém množství v oleji obsažena. Záleží, o jaké množství se jedná. Existuje určité pravidlo, že pokud je hmotnostní obsah vody v oleji do 0,2 % u převodových olejů a u hydraulických olejů v rozmezí 0,03÷0,05 %, je olej v pořádku. Pokud by však byl hmotnostní obsah vody vyšší než tyto limity, mohlo by docházet: k pěnění oleje, vypadávání aditiv – tím související oxidační nestabilita, produkování emulze olej – voda, tvorbě kalů, vzniku koroze na hydraulických prvcích a v neposlední řadě k celkovému zvýšení viskozity.

U vzorků hydraulického oleje výrobních zařízení se testovala přítomnost vody pomocí metody K. Fischera (Coulometrická titrace s jódem). Tato metoda je popsána normou ČSN EN ISO 12937. Zařízení pro kvantitativní způsob určení obsahu vody se skládá z titrační nádoby, ve které jsou uloženy dvě elektrody (měřicí a generační) a destilační píčky, která je uložena externě. Měřicí elektroda měří úbytek jódu, který se spotřebovává reakcí s vodní párou. Generační elektroda tento úbytek jódu navrácí na původní hladinu. Zvážený testovaný olej se naleje do destilační píčky, která jej zahřívá na teplotu cca 120÷130 °C. Tím dochází k odpařování vody obsažené ve vzorku oleje. Vzniklá pára je vháněna za pomoci malého kompresu do titrační nádobky, kde reaguje s jódem až do úplného vypaření vody ze vzoru oleje. Spotřebovaná voda je ekvivalentním množstvím při reakci vzniklého nadbytečného jódu, který je zaznamenán elektrometrickým detektorem. Po zadání navážky oleje před testem a po testu do Coulometru WTD se vyhodnotí celkový obsah vody obsažený v oleji v jednotkách ppm (mg/kg).

Pro tento test byl využit Coulometr WTD s destilační píčkou, které jsou zobrazeny na obrázku 8.



Obrázek 8 - Coulometr WTD s destilační píčkou [autor]

3.3 Kód čistoty

Kód čistoty je významným parametrem zejména u hydraulických olejů, kde je kladen velký důraz na jejich čistotu. Je to z toho důvodu, že hydraulické obvody jsou tvořeny velmi přesnými prvky, jako jsou hydraulické rozváděče, proporcionální ventily, servoventily apod. Výrobci těchto prvků si sami předepisují limity kódu čistoty. Při nedodržování předepsaných limitů může docházet k poškození vnitřních povrchů jednotlivých hydraulických prvků, v horším případě pak k jejich úplnému selhání. Pro stanovení kódu čistoty, tj. obsahu pevných částic v oleji, se využívá norma ČSN ISO 4406 a NAS 1638.

První zmiňovaná norma udává zápis kódu čistoty pomocí tří za sebou jdoucích číslic oddělených lomítkem, např. 17/15/12 a vztahuje se na počet částic obsažených v 1 mililitru vzorku. První kódové číslo odpovídá počtu částic (více jak 640 do 1 300 včetně) $\geq 4 \mu\text{m}$, druhé číslo odpovídá počtu částic (více jak 160 do 320 včetně) $\geq 6 \mu\text{m}$ a třetí číslo odpovídá počtu částic (více jak 20 do 40 včetně) $\geq 14 \mu\text{m}$. Podrobnější výklad je uveden v normě ČSN ISO 4406 [13].

Norma NAS 1638 hodnotí 5 rozměrových skupin pevných částic podle jejich velikostí ($5 \div 15 \mu\text{m}$, $15 \div 25 \mu\text{m}$, $25 \div 50 \mu\text{m}$, $50 \div 100 \mu\text{m}$ a částice $>100 \mu\text{m}$) a to na 100 mililitrů vzorku. Po sečtení všech nečistot se každé z 5 rozměrových skupin přiřadí kódové číslo, které se vybírá ze 14 tříd (00, 0, 1 ... 12). V posledním kroku se vybere jedno nejvyšší kódové číslo (největší znečištění), které je zároveň výstupem této normy [14].

Pro zjištění počtu pevných částic ze vzorků oleje výrobních zařízení se nejprve provedlo smíchání vzorků oleje s technickým benzínem v poměru 1:10. Tato směs byla nalita do filtračního zařízení (obrázek 9) přes papírový filtr s pórovitostí 0,8 mikrometrů. Následně se filtr nechal pár minut vysušit. Posledním krokem bylo umístění papírového filtru pod mikroskop (obrázek 10), který je propojen se softwarem LAMBDASOFT 2007 nainstalovaným v počítači laboratoře TRIBO v prostorách VŠB – TUO.

V softwaru se provedlo nastavení snímků na počet 30. Pomocí náhodného algoritmu docházelo ke snímání filtru mikroskopem a ukládání všech 30 snímků. Po skončení snímání byl softwarem vyhodnocen kód čistoty podle ČSN ISO 4406 a NAS 1638.



Obrázek 9 – Filtrační zařízení [autor]



Obrázek 10 – Mikroskop propojený se softwarem LAMBDASOFT 2007 [autor]

3.4 Rentgenová spektrometrie

Úkolem rentgenové spektrometrie je stanovení koncentrace jednotlivých prvků obsažených ve vzorku oleje. Vyhodnocují se dvě hlavní skupiny prvků. První skupinu tvoří prvky otěrových částic (Fe, Cu, Cr, Sn, Si, Pb), ve druhé skupině se vyhodnocují prvky obsažené v aditivech (Zn, P, Ca). Dále se hodnotí i obsah síry, sodíku apod.

Principem rentgenového spektrometru je vyzáření rentgenového paprsku ze zdroje (rentgenky) do testovaného oleje. Toto záření má za důsledek vybuzení elektronů ze struktury atomu jednotlivých prvků [15]. Jedno měření, respektive prozařování trvá přibližně 18 minut. Výhodou spektrometru Xepos – XRF (obrázek 11) je, že dokáže testovat 8 různých vzorků při jednom měření. Výstupem měření je tabulka, kde jsou uvedeny jednotlivé prvky, které jsou popsány protonovým číslem, značkou, názvem, a především svojí koncentrací v jednotkách ppm. Příklad výstupní tabulky je na obrázku 12.



Obrázek 11 – Spectro Xepos – XRF [autor]

<u>Z</u>	<u>Symbol</u>	<u>Element</u>	<u>Norm. Int.</u>	<u>Concentration</u>
16	S	Sulfur	12207,7671	10290ppm
11	Na	Sodium	11,6671	1683ppm
15	P	Phosphorus	348,4558	666,7ppm
30	Zn	Zinc	3610,0312	416,1ppm

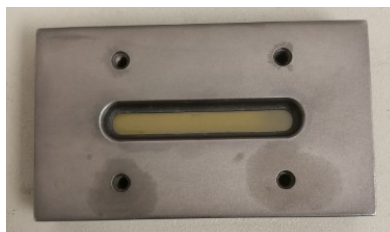
Obrázek 12 – Příklad výstupní tabulky [autor]

3.5 Spektrální analýza FT – IR

Jedná se o velmi rychlou a citlivou analýzu, která pro vyhodnocení vzorků využívá infračervenou spektrometrii s Fourierovou transformací. Tato moderní metoda se vyznačuje vysokým průchodem energie a vysokým poměrem kvality signálu k šumu. Pomocí FT – IR analýzy lze poměrně rychle stanovit [2]:

- sulfatační, oxidační a nitrídační produkty,
- obsah glykolu a vody,
- úbytek aditiv,
- obsah paliva,
- obsah sazí.

Principem této metody je nanesení tenké vrstvy oleje na krystal selenidu zinečnatého (obrázek 13). V průběhu analýzy dochází k $10 \div 12$ odrazům infračerveného záření uvnitř krystalu a zároveň pronikání do hloubky zkoumaného oleje $1 \div 2 \mu\text{m}$. Tím se vybudí molekuly zkoumaného oleje na vyšší vibrační hladiny a pohltní se záření určitých vlnových délek, které odpovídají složení zkoumaného oleje. Výstupem této analýzy jsou tzv. absorpční pásy, jejichž poloha – vlnčet (převrácená hodnota vlnové délky) koresponduje určitým sloučeninám. Přístroj pro spektrální analýzu je uveden na obrázku 14 [2].



Obrázek 13 – Krystal selenidu zinečnatého [autor]



Obrázek 14 – Přístroj pro FT – IR analýzu [autor]

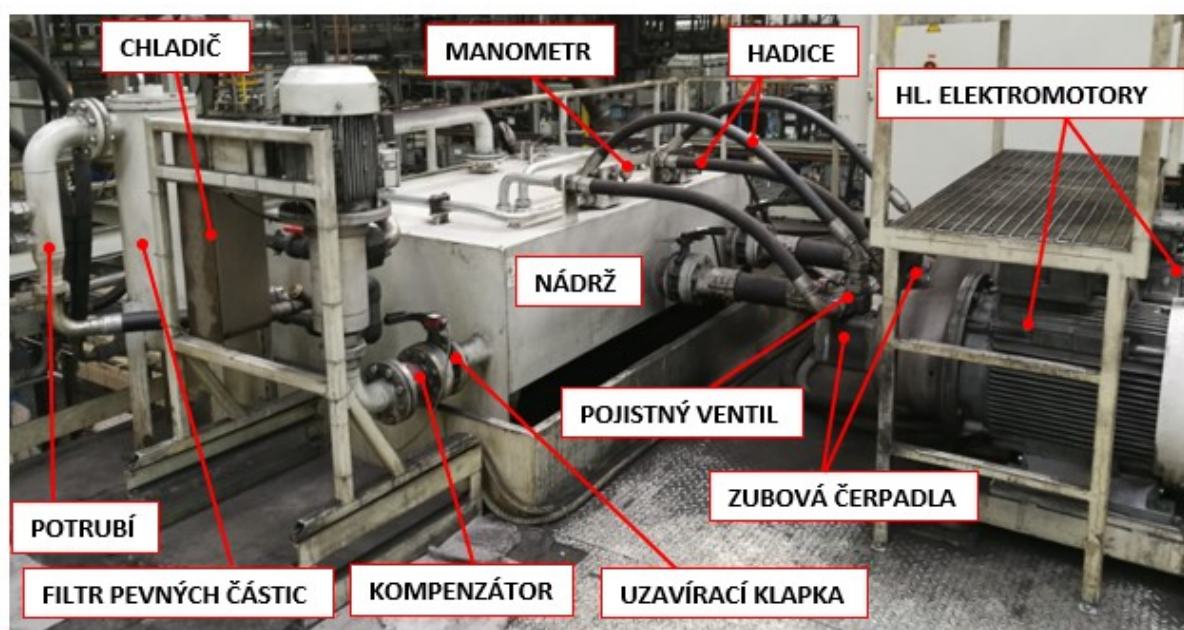
4 Popis hlavních částí hydraulického agregátu na výrobních zařízeních DKB

Tvářecí linky DKB sloužící pro ohýbání kruhových tyčí a trubek pracují v nepřetržitém provozu a jsou schopny vyprodukovat až 250 kusů za hodinu. Z toho je zřejmé, že jakýkoliv výpadek (porucha) může mít pro výrobní společnost fatální následek. Proto je velice žádoucí využívat metody technické diagnostiky ke snížení těchto nečekaných selhání. Automatické linky DKB se skládají ze vstupního zásobníku materiálu, šesti tvářecích stolů, mezi kterými jsou tzv. podávací ruky, popř. roboti a výstupním skluzem. Všechny tvářecí stoly jsou napojeny na hydraulický obvod a z tohoto důvodu se hydraulika stává nejdůležitějším nástrojem ke správnému chodu celého zařízení.

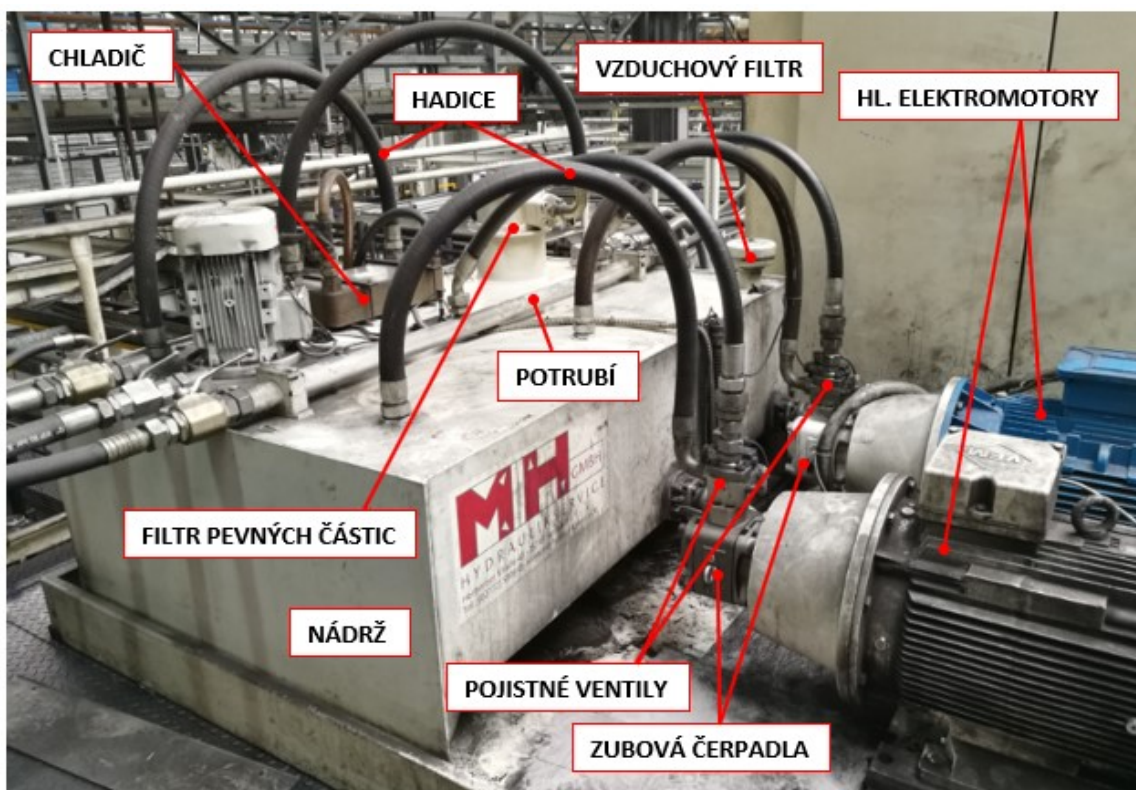
Hydraulika pro své účely využívá mechanických vlastností oleje a umožňuje přenos přibližně desetkrát větších sil (tlaků) než pneumatika. Mezi prvky tvořící celý hydraulický systém výrobních zařízení DKB patří: elektromotory, zubová čerpadla, hydraulický olej, nádrž, filtr pevných částic, vzduchový filtr, chladič, přímočaré hydromotory, prvky k řízení tlaku a průtoku kapaliny (proporcionální ventily, pojistné ventily, škrťací ventily, uzavírací klapky, rozváděče), akumulátor, potrubí, hadice, kompenzátory, manometry a olejoznak.

V rámci této práce byly metody vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky aplikovány na třech výrobních zařízeních: DKB A5, DKB A12 a DKB A14. Všechny uvedené tvářecí linky jsou si konstrukčně velmi podobné, mohou se lišit pouze jiným uspořádáním hydraulických prvků v systému, objemem nádrže apod.

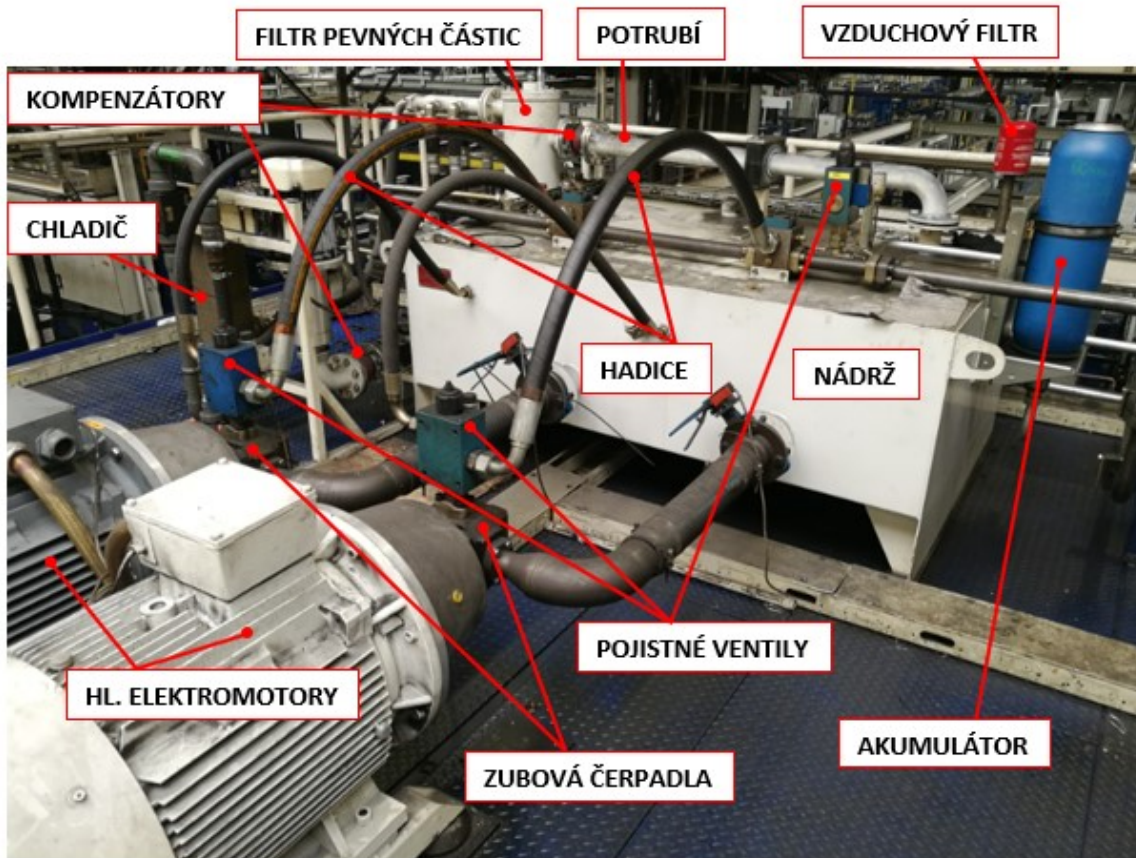
Popis hlavních částí hydraulických agregátů výrobních zařízení DKB jsou uvedeny níže na obrázcích 15 až 17 (pozn. některé hydraulické prvky nejsou na obrázcích vidět, ale i přesto v hydraulickém obvodu zakomponovány jsou).



Obrázek 15 – Hlavní částí hydraulického agregátu na DKB A5 [autor]



Obrázek 16 – Hlavní částí hydraulického agregátu na DKB A12 [autor]



Obrázek 17 – Hlavní částí hydraulického agregátu na DKB A14 [autor]

U všech výrobních zařízení DKB je provozní tlak v systému ± 180 barů. Chladič kapaliny je napojen na nádrž a má v ní za úkol udržovat olej na teplotě 35 °C. Pokud dojde k nárůstu teploty, chladič se automaticky zapne a začne olej chladit. Naopak při poklesu teploty pod 35 °C dojde k vypnutí chladiče. Dalším prvkem zlepšující vlastnosti oleje je filtr pevných částic s bypass ventilem. Ten je v systému připojený na vratném potrubí, čímž filtruje olej od nečistot ještě před natečením do nádrže. Zároveň přes něj proudí i olej z chladiče. Pórovitost filtru činí 5 μm a jednou za šest týdnů je měněn při preventivní údržbě.

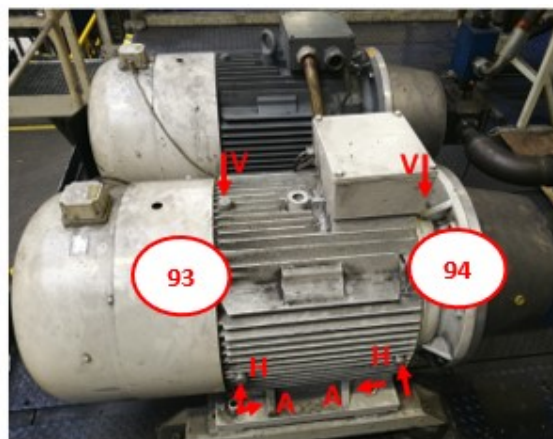
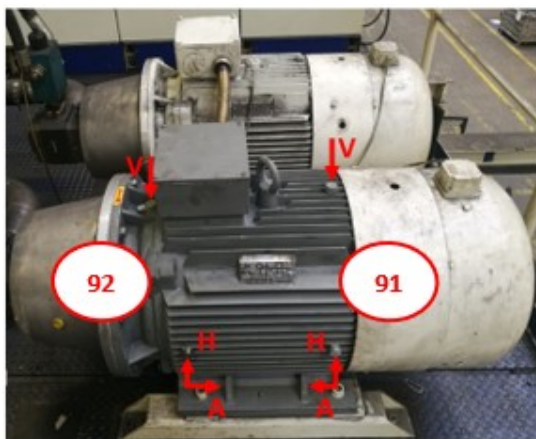
Mezi klíčové prvky hydraulického systému, na kterých byly aplikovány metody vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky, patří: hlavní elektromotory, zubová čerpadla a hydraulický olej. Tyto prvky budou podrobněji specifikovány v následujících podkapitolách.

4.1 Elektromotory

Každé výrobní zařízení DKB má dva hlavní elektromotory, které jsou připojeny na frekvenční měnič. Podle projektu a jeho náročnosti ohýbání na tvářecích stolech dochází k plynulému zvyšování či snižování výkonu (otáček) motorů. Pro měření vibrací jsou však tyto podmínky nevyhovující. Proto byl vznesen požadavek na vedoucího elektronika, aby do softwarů výrobních zařízení DKB nainstaloval tlačítko umožňující spuštění motorů (zubových čerpadel) při konstantních otáčkách (1400 min^{-1}). Z toho plyne, že vibrodiagnostická měření lze provádět pouze při odstávkách zařízení, či obědových přestávkách.

Elektromotory jsou opatřeny měřícími body, které jsou pomocí dvousložkového tmelu nalepeny na tělese motoru ve třech směrech (vertikální, horizontální, axiální), a to co nejbližše zadnímu i přednímu ložisku. Každé ložisko elektromotoru je označeno jiným **(jedinečným)** číslem. K tomuto číslu je navíc přidáno písmenko podle směru umístění snímače (V – vertikální, H – horizontální, A – axiální). Příklad zápisu konkrétního měřícího místa: Bod 91 V, tzn. 91. ložisko z celkového seznamu měřených ložisek (měřící bod ložiska u vrtule), V – vertikální směr, motor 1, DKB A14 (obrázek 18). Číslování ložisek elektromotorů všech DKB bude uvedeno v kapitole 5.

Na obrázku 18 jsou vidět nalepené měřící body na hlavních elektromotorech DKB A14, číselné označení ložisek a vyznačené směry (pozn. ostatní výrobní zařízení DKB, respektive elektromotory jsou opatřeny měřícími body na stejných místech). Dále je uvedena tabulka 1 s technickými parametry elektromotorů na všech DKB (pozn. všechny elektromotory mají stejné parametry, liší se pouze jejich výrobcem).



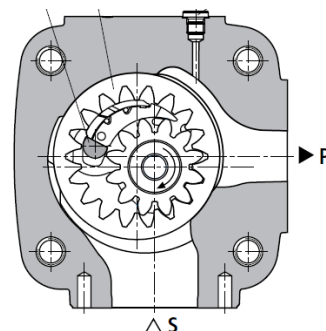
Obrázek 18 – Hlavní elektromotory na DKB A14 s vyznačenými měřicími body [autor]

Tabulka 1 – Technické parametry hl. elektromotorů na všech DKB

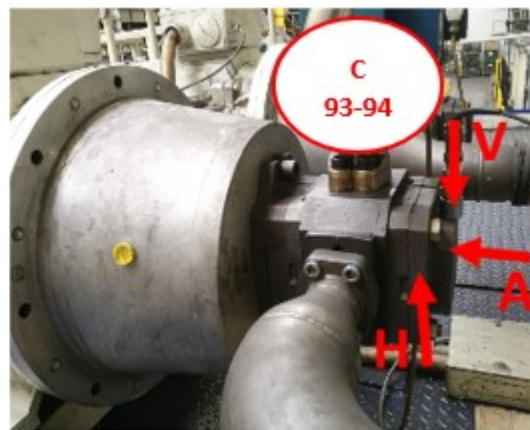
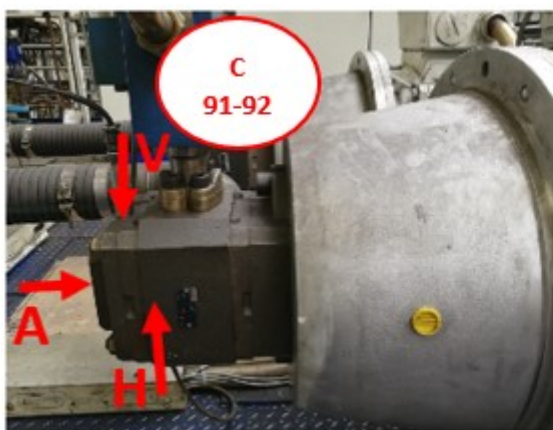
Výrobci motorů	AC-Motoren GmbH, ADDA Antriebstechnik GmbH
Výkon	75 kW
Otáčky	1485 min ⁻¹ (měření při 1400 min ⁻¹)
Hmotnost	520 kg

4.2 Zubová čerpadla

Všechna čerpadla DKB patří do skupiny zubových čerpadel s vnitřním ozubením (obrázek 19). Jejich úkolem je čerpat hydraulický olej z nádrže a pomocí hadic a potrubí jej dopravovat do celého hydraulického systému. Podobně jako elektromotory se měří ve třech směrech: vertikálním – V, horizontálním – H a axiálním – A. Označení zubových čerpadel, C, je podle číslování ložisek příslušného elektromotoru. Příklad zápisu konkrétního měřicího místa na zubovém čerpadle: C 91-92 V, tzn. C – měřicí bod zubového čerpadla, 91-92 číslování ložisek příslušného elektromotoru, V – vertikální směr. Na obrázku 20 je uvedeno označení zubových čerpadel na DKB A14 s vyznačenými směry měření (pozn. další výrobní zařízení DKB, respektive zubová čerpadla byla měřena na stejných místech). Označení zubových čerpadel všech DKB bude uvedeno v kapitole 5.



Obr. 19 – Řez zubových čerpadel: vlevo – ECKERLE [17], vpravo – REXROTH [16]



Obr. 20 – Označení zubových čerpadel na DKB A14 s vyznačenými měřicími místy [autor]

Na výrobních zařízeních DKB A12 a DKB A14 jsou používána vysokotlaká čerpadla značky Rexroth a na DKB A5 je vysokotlaké čerpadlo značky Eckerle. Konstrukčně jsou si velice podobné, liší se pouze počtem zubů pastorku a hnaného kola. Dále pořizovací cenou, která však není markantní.

V průběhu používání čerpadel značky Rexroth a Eckerle je dobré sledovat počet jejich selhání (celkovou životnost). Tyto skutečnosti zaznamenávat v rámci určité doby (např. 2–3 roky), vyhodnotit množství selhání a v posledním kroku rozhodnout, jaký výrobce je spolehlivější. Níže je uvedena tab. 2 s technickými parametry čerpadel Rexroth a Eckerle.

Tabulka 2 - Technické parametry zubových čerpadel na všech DKB [16], [17]

Výrobce	REXROTH	ECKERLE
Označení	PGH5-30/125REVU2	EIPH6-125RK23-10
Maximální tlak	350 bar	280 bar
Maximální rychlost	2000 min ⁻¹	2200 min ⁻¹
Požadovaná provozní kapalina	HLP, HFC, HFDU	HL – HLP DIN 51 524
Maximální teplota kapaliny	80 °C	80 °C
Minimální teplota kapaliny	-10 °C	-20 °C
Přibližná hmotnost	48 kg	42 kg
Max. přípustný kód čistoty dle ISO 4406	20/18/15	20/18/15

4.3 Hydraulický olej

Na výrobních zařízeních DKB se používá hydraulický olej BonLine Hydraulic HLP s viskozitní třídou ISO VG 46 (viskozitní třída znamená, že olej by měl mít při 40 °C

kinematickou viskozitu $46 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Podle normy DIN 51 524 třída HLP obsahuje přísady proti oxidaci, korozi a protioděrové přísady. Dle API (American Petroleum Institute) se tento olej řadí do základových olejů Grupa I (dle technologie získávání oleje z ropy – rafinace). Základní fyzikálně-chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 – Základní fyzikálně-chemické vlastnosti oleje BonLine Hydraulic HLP [18]

Parametr	Norma	HLP 46
Kinematická viskozita při 40 °C	ASTM D-445	46 mm ² /s
Bod tuhnutí	TM D-5950	-33 °C
Bod vzplanutí	PN-EN ISO 2592	228 °C
Viskozitní index	ASTM D-2270	99

5 Vibrodiagnostika výrobních zařízení DKB

Vibrodiagnostika byla aplikována na 3 tvářecích linkách DKB ve výrobním závodě pro automobilový průmysl. Předmětem měření bylo 6 elektromotorů včetně zubových čerpadel, které jsou řazeny mezi klíčové prvky hydraulického systému. Prvním krokem bylo opářit elektromotory měřicími body, a to z důvodu zajištění stejných podmínek při opakovaném měření (viz. kapitola 4.1).

Pravidelným měřením v období červenec 2019 ÷ březen 2020 byly získány trendy, které vypovídají o aktuální kondici a též vývoji případných opotřeбенí prvků rotačních zařízení. Pro měření vibrací byl zapůjčen firemní měřicí přístroj ADASH 4900 - Vibrio M. Dále software DDS 2016, který sloužil k ukládání dat do trendů, a též k celkovému vyhodnocení kondice elektromotorů a zubových čerpadel.

5.1 Měřicí přístroj ADASH 4900 - Vibrio M

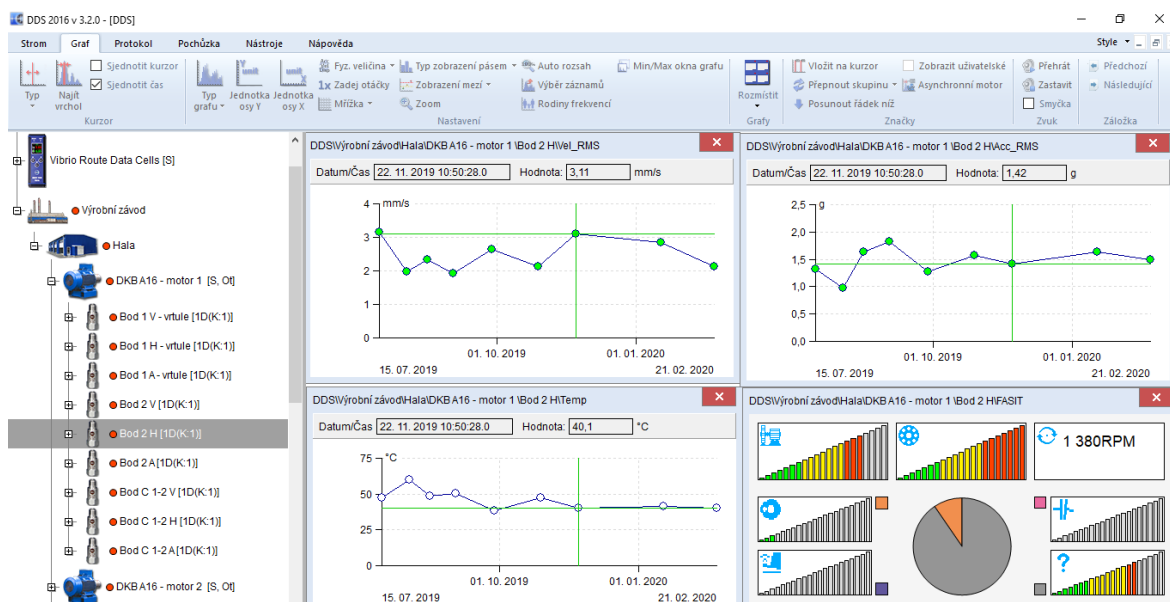
Analyzátor ADASH 4900 - Vibrio M (obrázek 21) je řazen do kategorie pochůzkového měření, nebo lze použít označení off-line měření vibrací. Jedná se o základní typ analyzátoru, který má pouze jeden vstupní kanál pro připojení akcelerometru a jeden výstupní kanál pro poslech signálu externími sluchátky (stetoskop). Další funkce jsou bezkontaktní měření teploty (rozsah -70 °C ÷ 380 °C), LED stroboskop pro stanovení otáček (rozsah 10 ÷ 18 000 RPM) a LED svítlna. Podrobnější technické parametry jsou uvedeny v tabulce 4. Přenos dat z analyzátoru do vyhodnocovacího softwaru DDS 2016 se provádí přes Micro USB. Ukázka pracovního prostředí softwaru DDS 2016 je zobrazena na obrázku 22.



Obrázek 21 - Analyzátor ADASH 4900 - Vibrio M včetně příslušenství [19]

Tabulka 4 – Technické parametry analyzátoru Adash 4900 - Vibrio M [19]

Možnosti měření:	Rychlost 10 - 1 000 Hz [mm/s, ips] Rychlost Peak 10 - 1 000 Hz [mm/s, ips] Zrychlení RMS 500 - 16 000 Hz [g] Zrychlení Peak 500 - 16 000 Hz [g] Časový záznam rychlosti 1 - 1 000 Hz [mm/s, ips] 2408 vzorků Spektrum rychlosti 1 - 1 000 Hz [mm/s, ips] 800 čar Časový záznam zrychlení 1 - 16 000 Hz [g] 2048 vzorků Spektrum zrychlení 1 - 16 000 Hz [g] 800 čar Zrychlení Demod-Envelope RMS 500 - 16 000 Hz [g] Zrychlení Demod-Envelope Peak 500 - 16 000 Hz [g] Zrychlení Demod-Envelope časový záznam 500 - 16 000 Hz [g] 2048 vzorků Zrychlení Demod-Envelope spektrum 500 - 16 000 Hz [g] 800 čar, 400 Hz Posunutí RMS 2–100 Hz [μm, mil] Posunutí 0 - Peak 2–100 Hz [μm, mil] Posunutí Peak – Peak 2–100 Hz [μm, mil]
Paměť:	Minimálně 900 měření – spektra, časové záznamy, širokopásmové hodnoty
Uložení dat:	Mimo pochůzku Pochůzka – DDS 2016 Vibrio software pro Windows
Displej:	Barevný grafický OLED 128 x 128 bodů, 1,5“ (38 mm)
Napájení:	2xAA 1,5V baterie (alkalické, NiMH, Lithiové - 8 hodin provozu)
Provozní teplota:	-5°C ÷ 55°C
Rozměry:	150 x 60 x 35 mm
Váha:	540 g včetně baterií (s kabelem, snímačem a magnetem)



Obrázek 22 – Pracovní prostředí softwaru DDS 2016

5.2 Mezní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací

Mezní hodnoty rychlosti vibrací pro elektromotory a zubová čerpadla na všech DKB byly zvoleny dle normy ČSN ISO 10816–3 (tabula 5). Mezní hodnoty zrychlení vibrací pro elektromotory a zubová čerpadla byly stanoveny na základě doporučení výrobní společnosti dle dlouhodobé analýzy měření těchto zařízení a též se souhlasem vedoucího práce. Hodnoty zrychlení vibrací pro elektromotory jsou v tabulce 6 a pro zubová čerpadla v tab. 7.

Tabulka 5 – Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816-3, pružné uložení. Měřenou a vyhodnocovanou veličinou je efektivní hodnota rychlosti vibrací – v_{RMS} [mm/s] [20].

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]
A/B	2,3
B/C	4,5
C/D	7,1

Tabulka 6 – Doporučené hodnoty zrychlení vibrací – a_{RMS} [g] v pásmu 500-16000 Hz pro elektromotory na všech DKB (Doporučeno od vedoucího práce).

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A/B	0,5
B/C	2
C/D	4,5

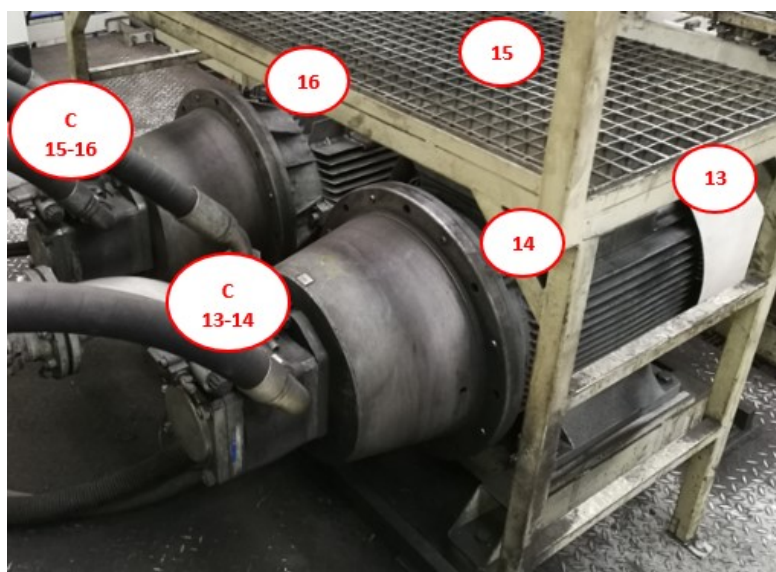
Tabulka 7 – Doporučené hodnoty zrychlení vibrací – a_{rms} [g] v pásmu 500–16000 Hz pro zubová čerpadla na všech DKB (Doporučeno výrobní společností dle dlouhodobé analýzy měření zubových čerpadlech DKB).

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A/B	3
B/C	5
C/D	11

Technický stav zařízení se hodnotí dle pásem. Pásmo A odpovídá novému zařízení. V pásmu B se nacházejí stroje, které jsou již nějakou dobu používány a nevykazují žádné nadměrné opotřebení. Obě tyto pásma hodnotí stav zařízení jako VYHOVUJÍCÍ. V pásmu C se začínají projevovat zvýšené hodnoty vibrací, z tohoto důvodu by mělo docházet k častějším měření – stav ZHORŠENÝ. Při dosažení pásma D je zapotřebí odstavit měřené zařízení, jinak by mohlo dojít k havárii – stav NEPŘIJATELNÝ [20].

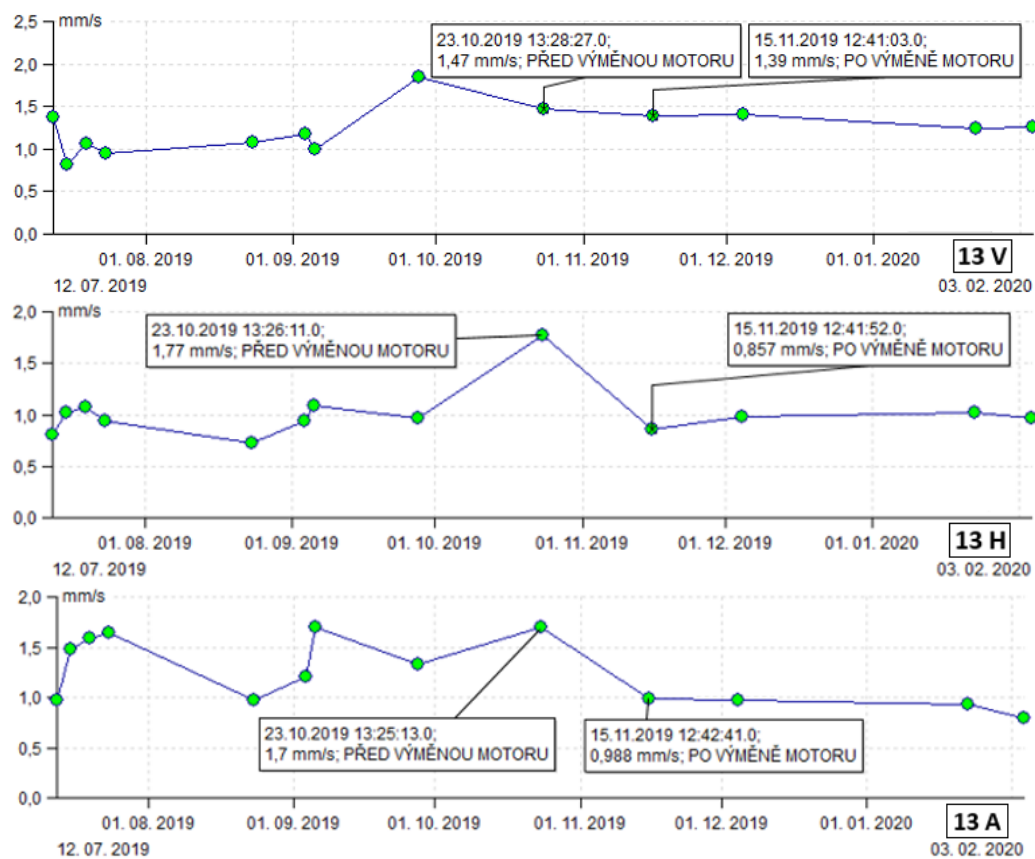
5.3 Vyhodnocení měření na DKB A5

Na výrobním zařízení DKB A5 se uskutečnilo celkem 13 měření elektromotorů včetně zubových čerpadel. Snímač vibrací byl umístěn na měřicích místech, a to vždy ve třech směrech (V – vertikálním, H – horizontálním, A – axiálním) dle obrázků 18 a 20 (kapitola 4.1 a 4.2). Níže je obrázek 23, kde je uvedeno číslování ložisek elektromotorů a označení zubových čerpadel. Dále jsou přiloženy výsledky z měření s náležitými popisy.

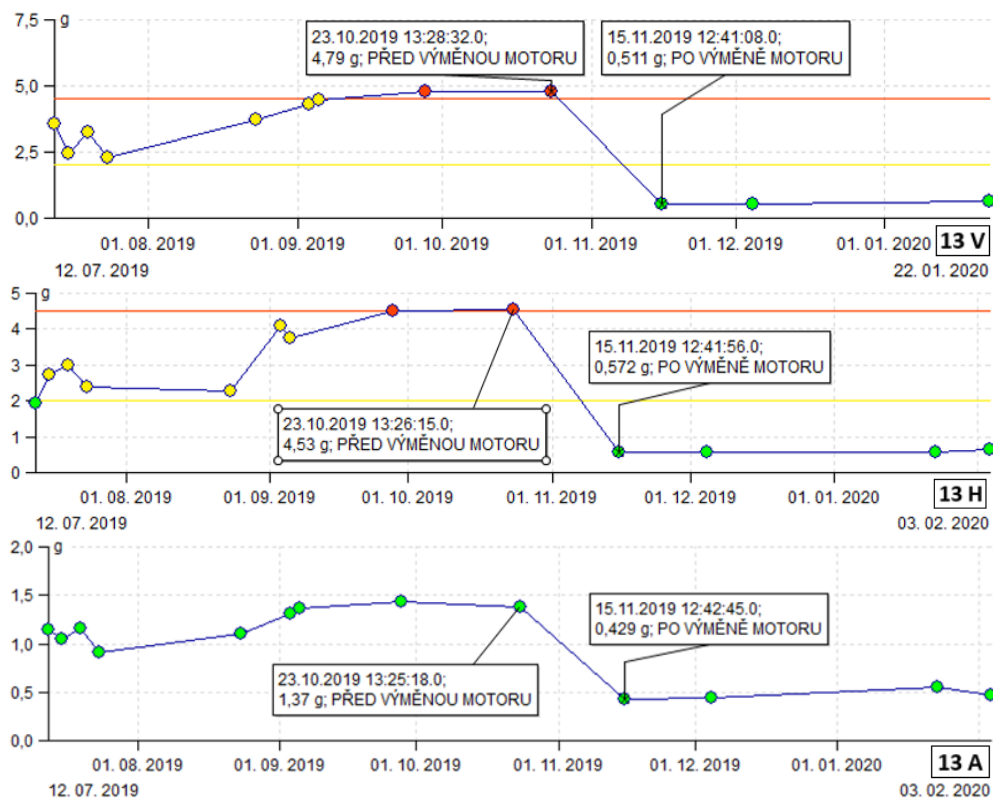


Obrázek 23 – Označení elektromotorů včetně zubových čerpadel na DKB A5 [autor]

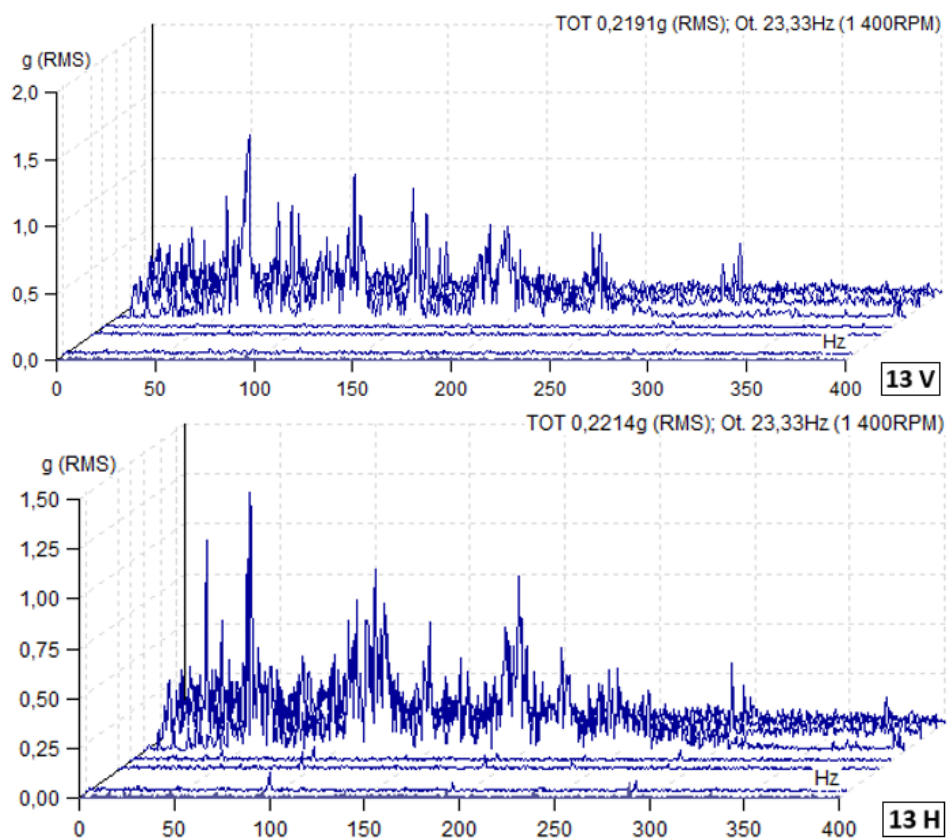
5.3.1 Elektromotor (Bod 13, 14)



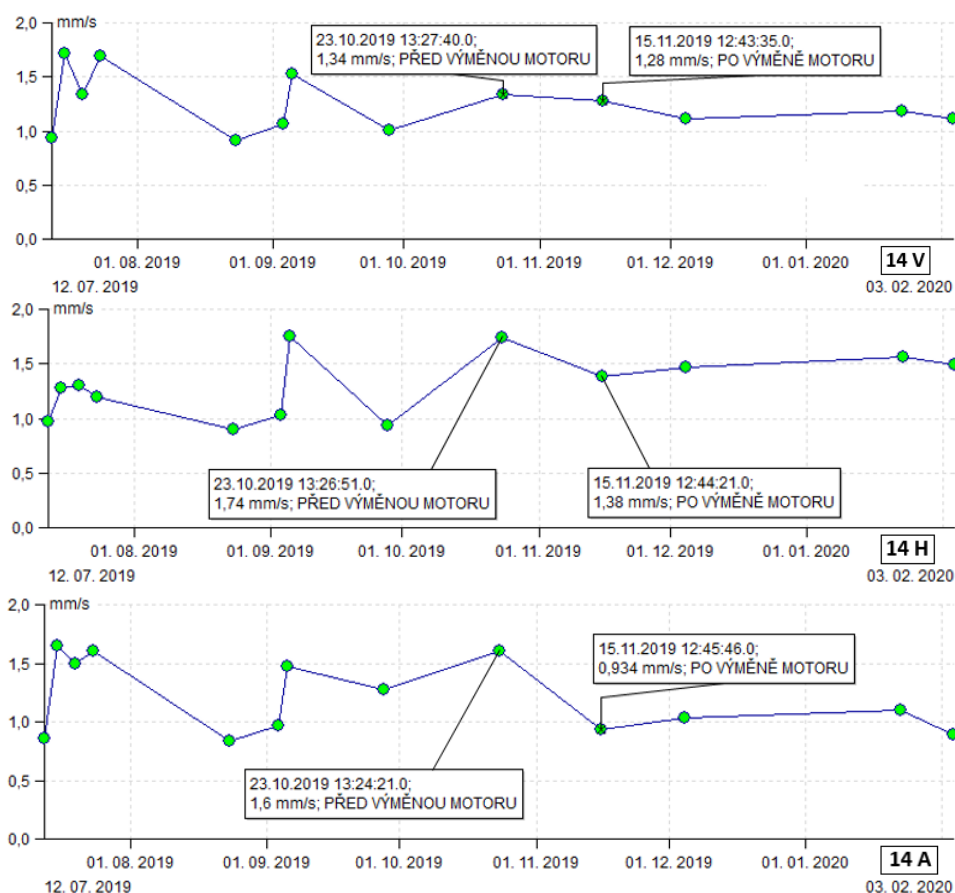
Obrázek 24 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 13) [autor]



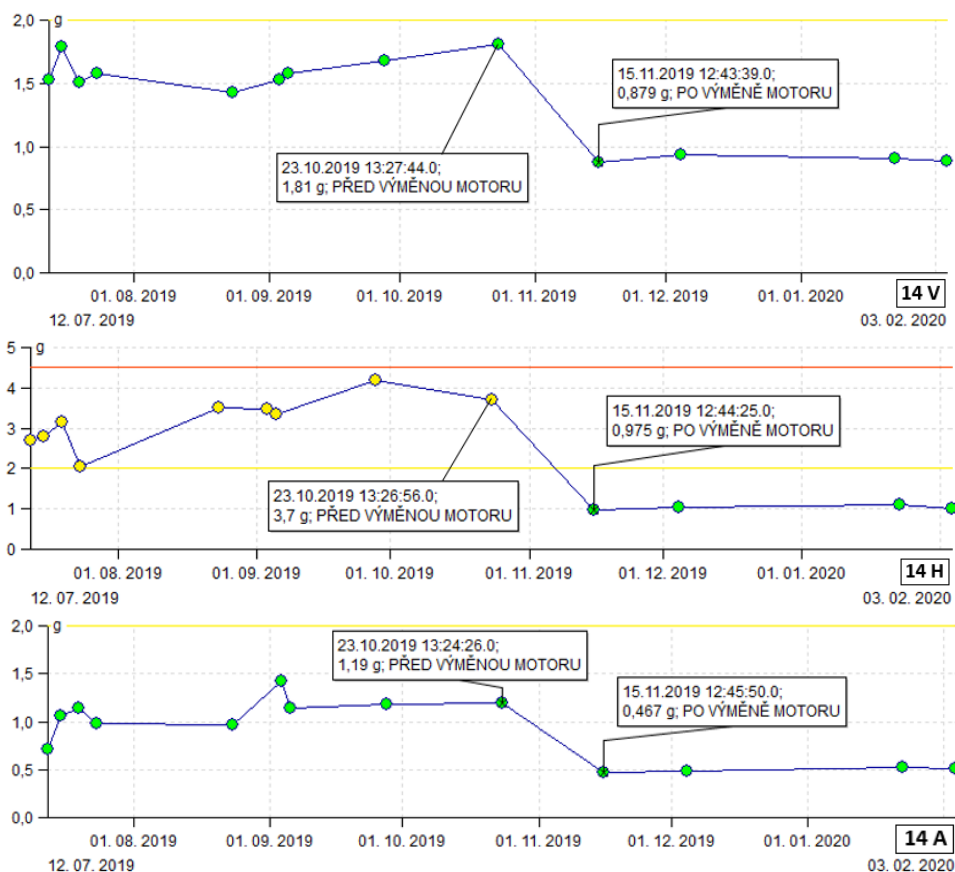
Obrázek 25 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 13) [autor]



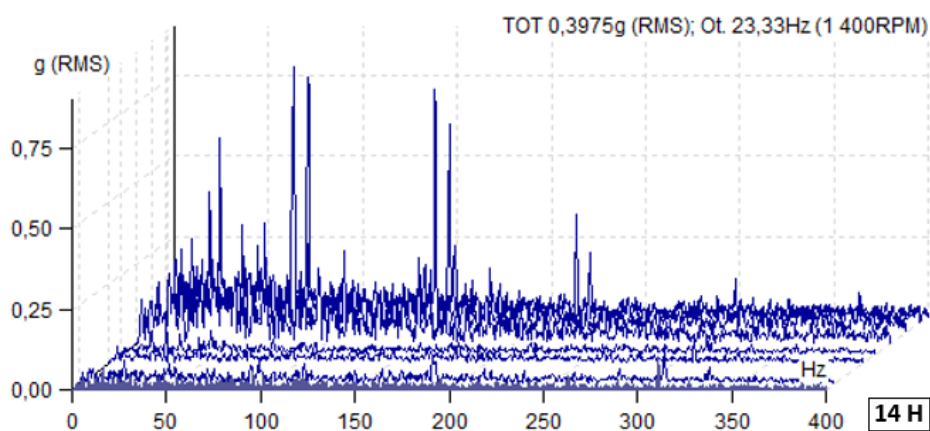
Obrázek 26 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 13) [autor]



Obrázek 27 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 14) [autor]



Obrázek 28 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 14) [autor]



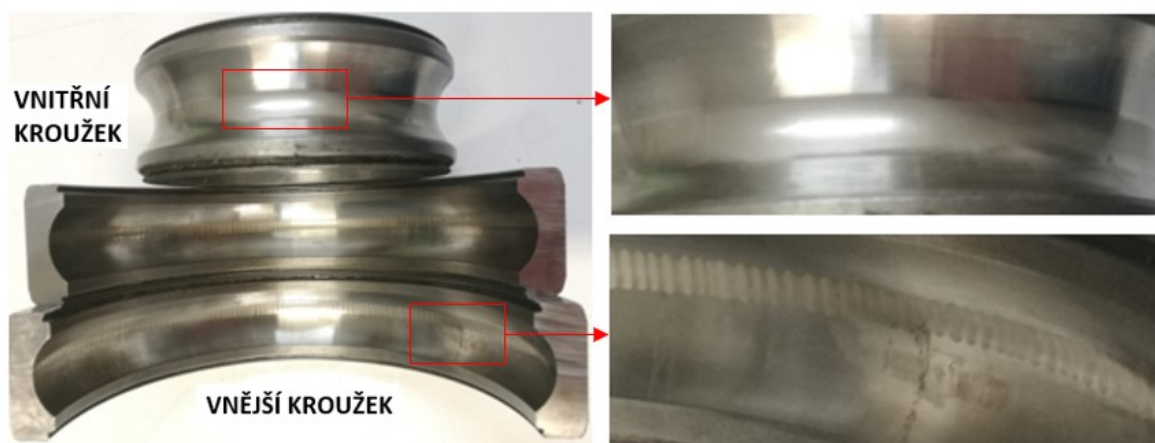
Obrázek 29 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 14 H) [autor]

Hodnoty rychlosti vibrací jsou v bodě 13 a 14 ve stavu vyhovujícím. Co se týče zrychlení, lze vidět postupný nárůst hodnot vibrací v obou bodech; u bodu 13 až do pásma D (vertikální a horizontální směr). Tento narůstající trend zrychlení vibrací byl zapříčiněn nadměrně opotřebovanými ložisky. Toto poškození je pěkně viditelné i v kaskádě spekter zrychlení demod-envelope. Z celkových výsledků lze též vypožorovat, že ložisko v bodě 13 je více opotřebované než ložisko v bodě 14.

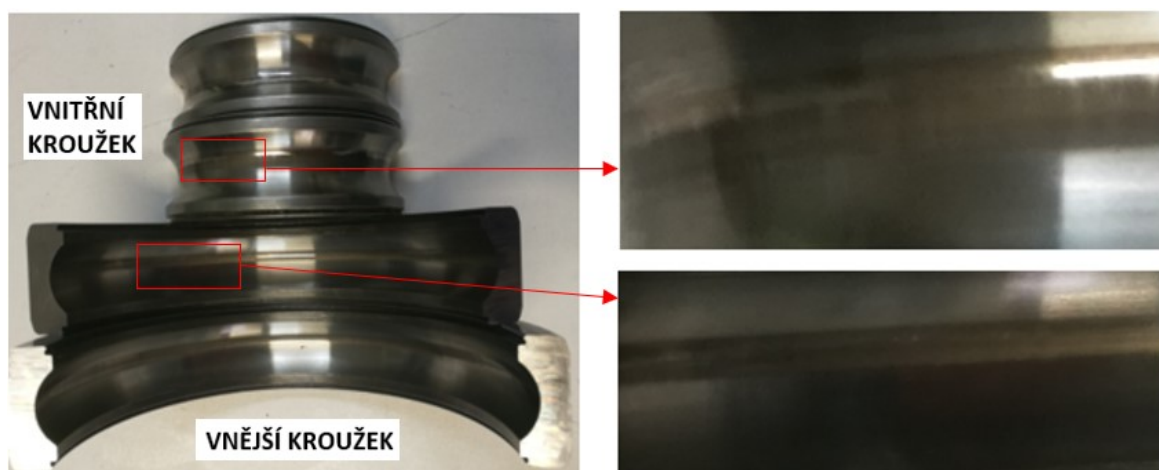
Na konci října 2019 byla provedena plánovaná výměna motoru (při preventivní údržbě). Z uvedených trendů je zřejmé, že nový motor dosahuje lepších hodnot vibrací a daleko nižších

hodnot zrychlení vibrací. Pro ověření výsledků byla poškozená ložiska demontována a vypreparována (obrázek 32, 33).

Z obrázků 32 a 33 je patrné, že ložiska byla opravdu nevratně poškozena. Vlivem průchodu elektrického proudu valivým kontaktem vznikly na oběžné dráze vnějšího kroužku ložiska 13 vroubky, které při přejíždění kuliček způsobovaly vysoké hodnoty zrychlení vibrací a nadměrný hluk [21]. Ložisko 14 ještě nebylo tak moc poškozeno jako ložisko 13 (což bylo zřejmé i z trendů zrychlení vibrací), lze vidět vytlačenou dráhu od kuliček (bez vroubek) na vnitřním i vnějším kroužku ložiska.

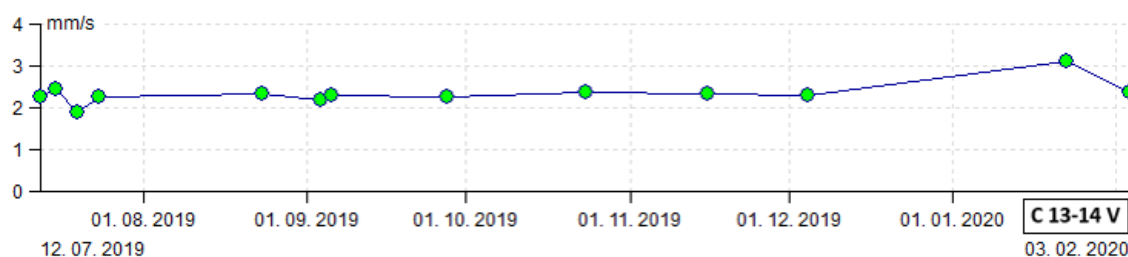


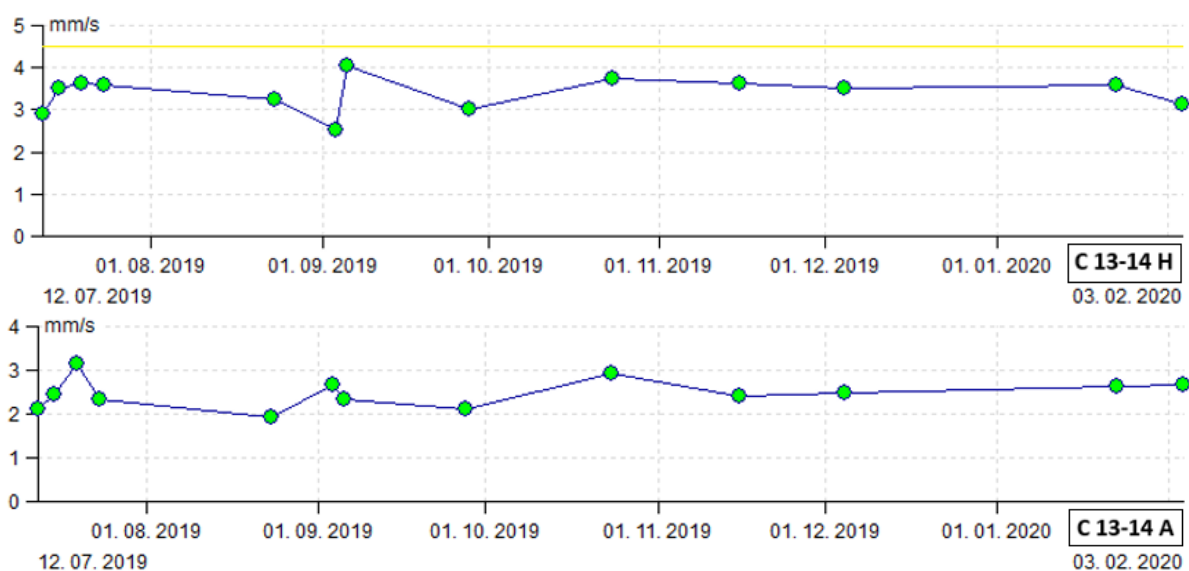
Obrázek 30 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 13 [autor]



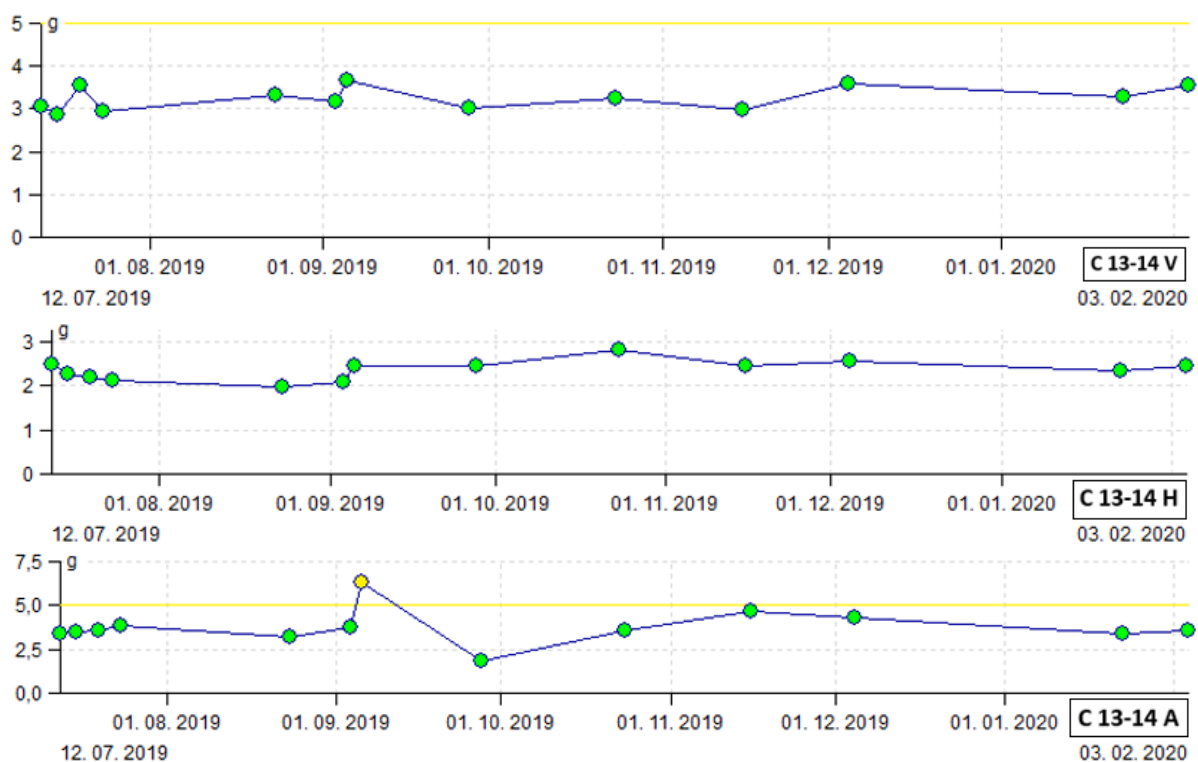
Obrázek 31 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 14 [autor]

5.3.2 Zubové čerpadlo (Bod C 13-14)





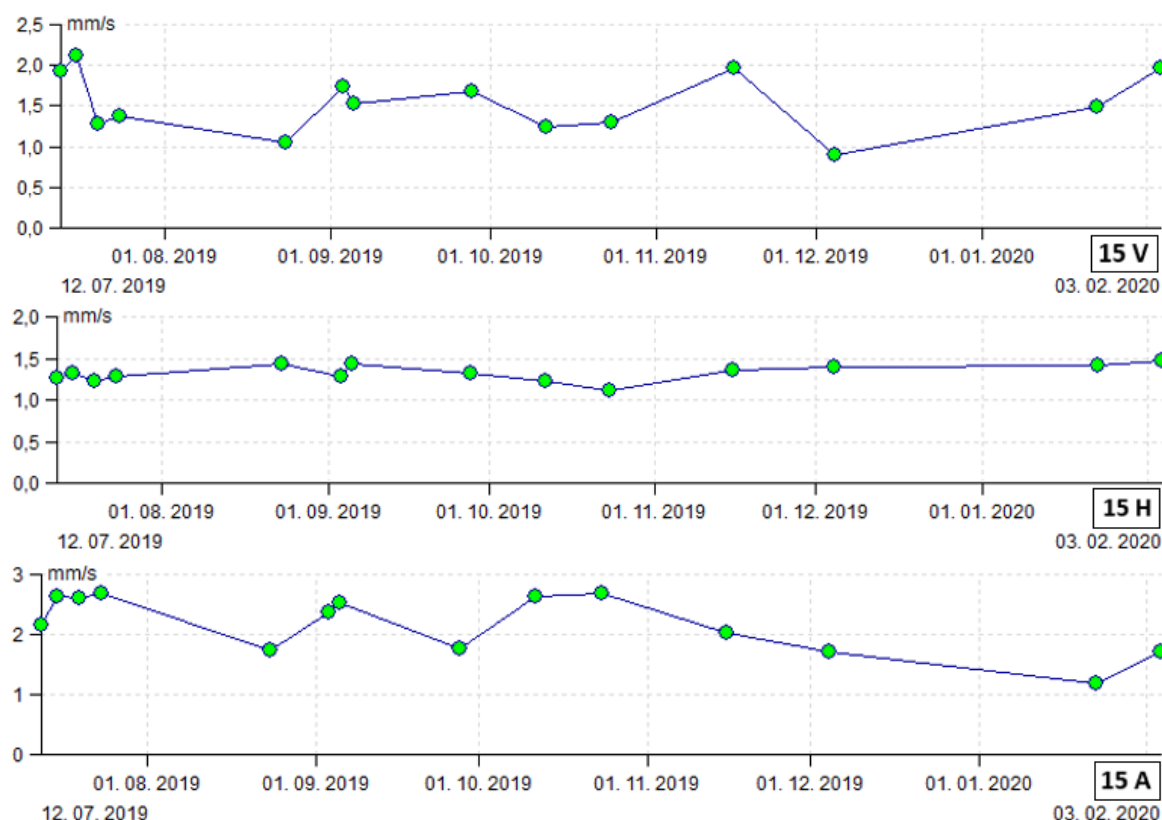
Obrázek 32 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 13-14) [autor]



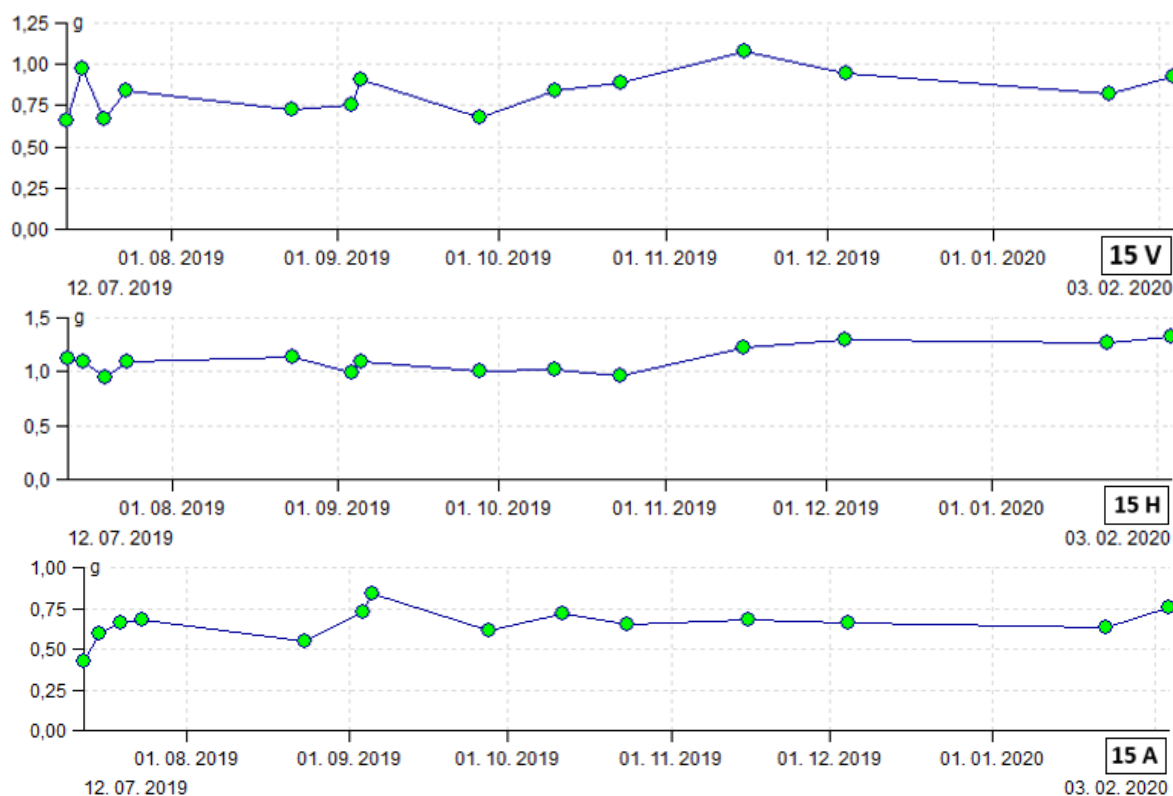
Obrázek 33 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 13-14) [autor]

Z uvedených trendů rychlosti i zrychlení vibrací lze vyčíst ustálený vyhovující stav zubového čerpadla (C 13-14) – vibrace se nacházejí v pásmu B. Doporučení: Nadále provádět pravidelná měření.

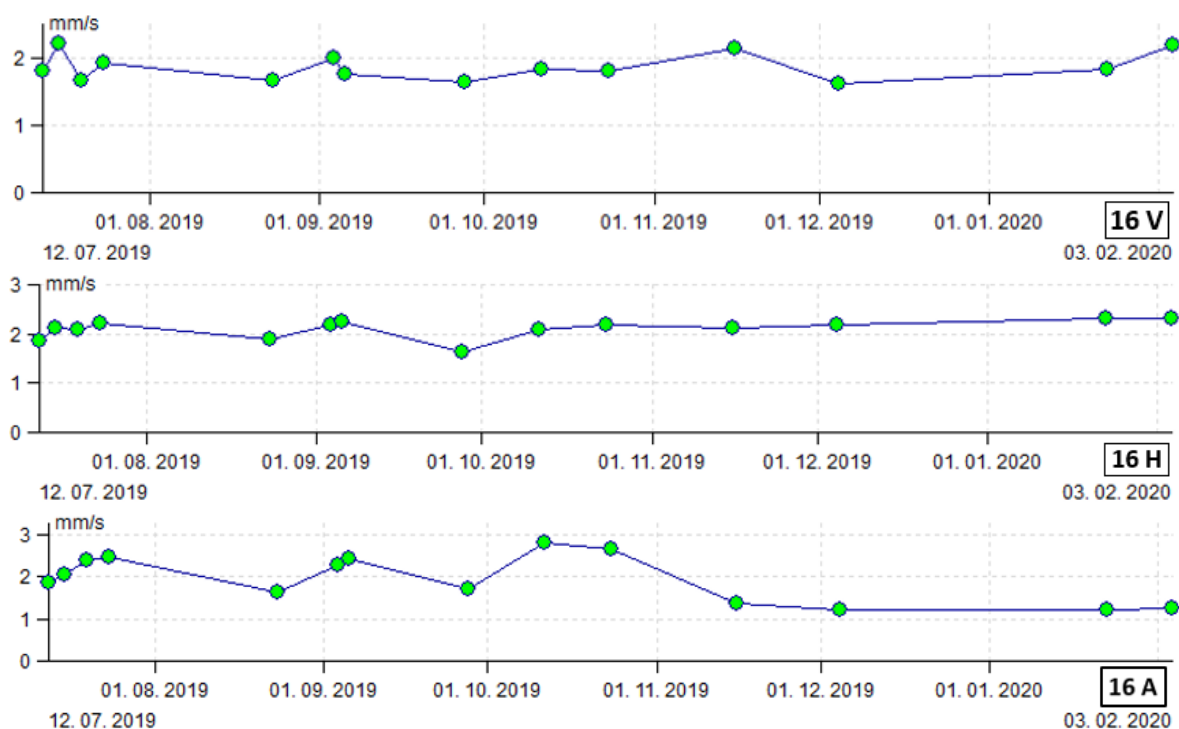
5.3.3 Elektromotor (Bod 15, 16)



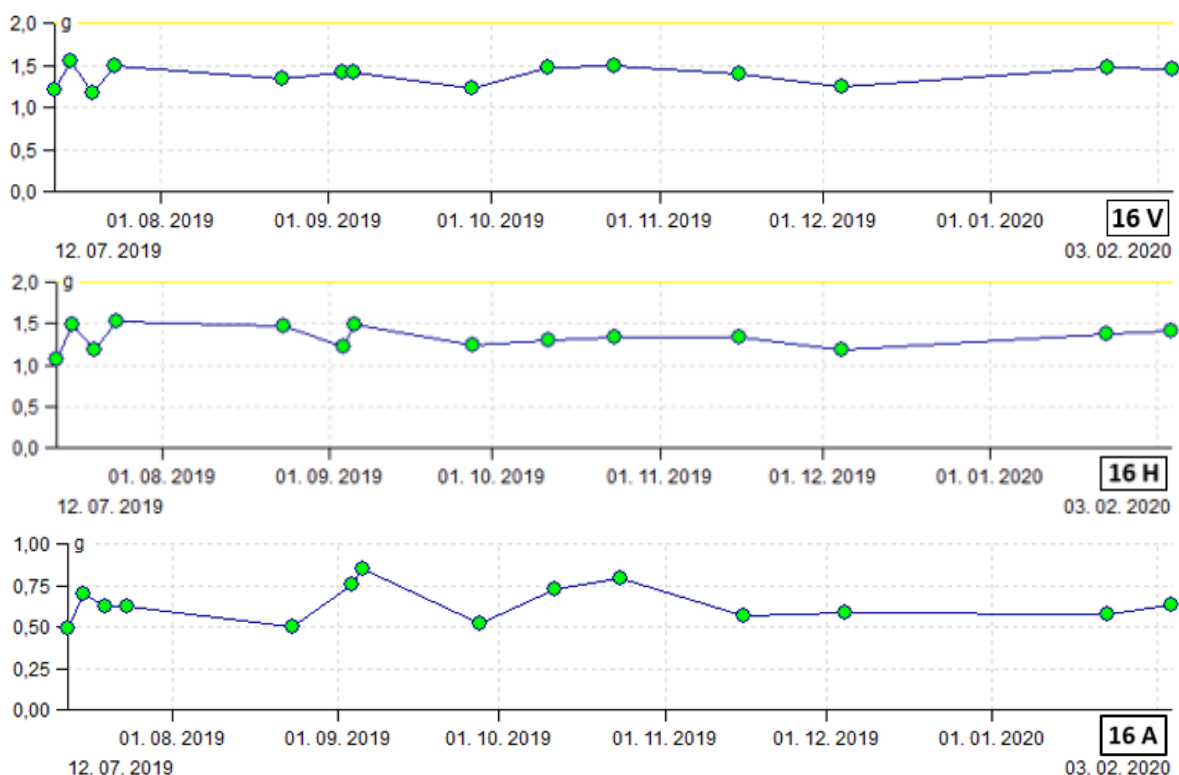
Obrázek 34 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 15) [autor]



Obrázek 35 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 15) [autor]



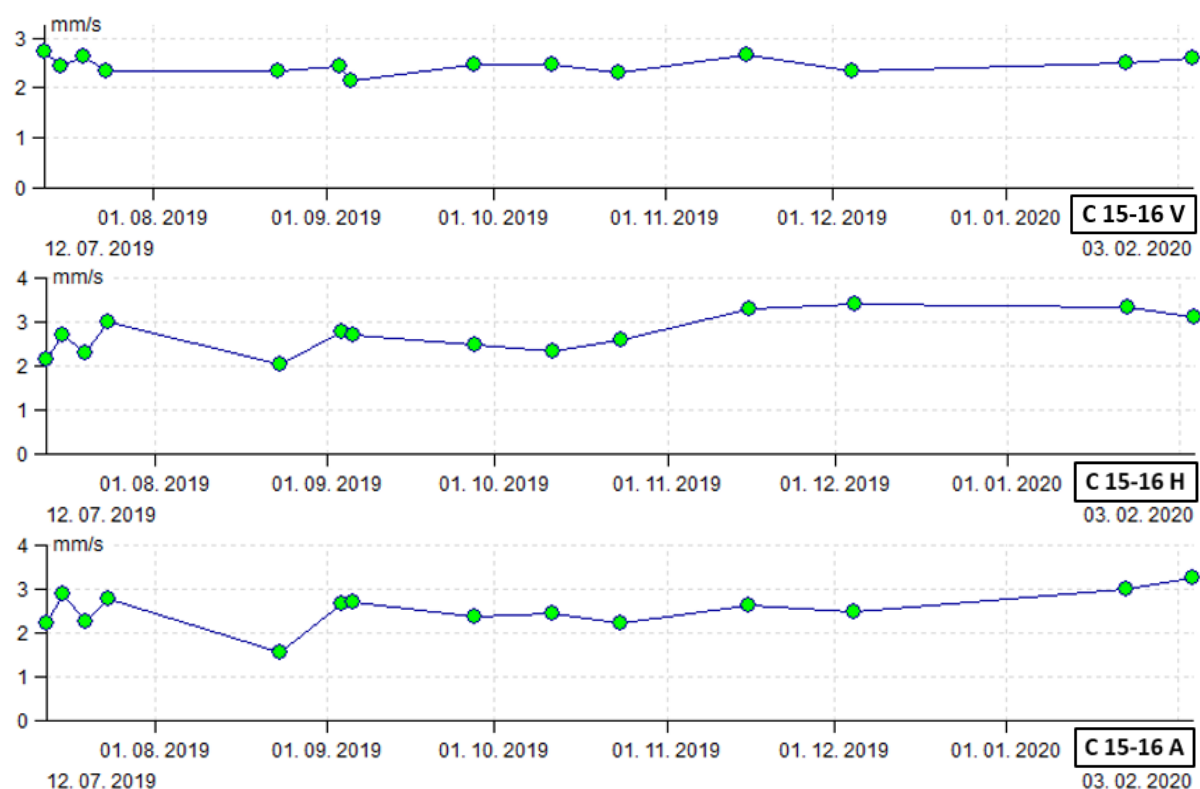
Obrázek 36 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 16) [autor]



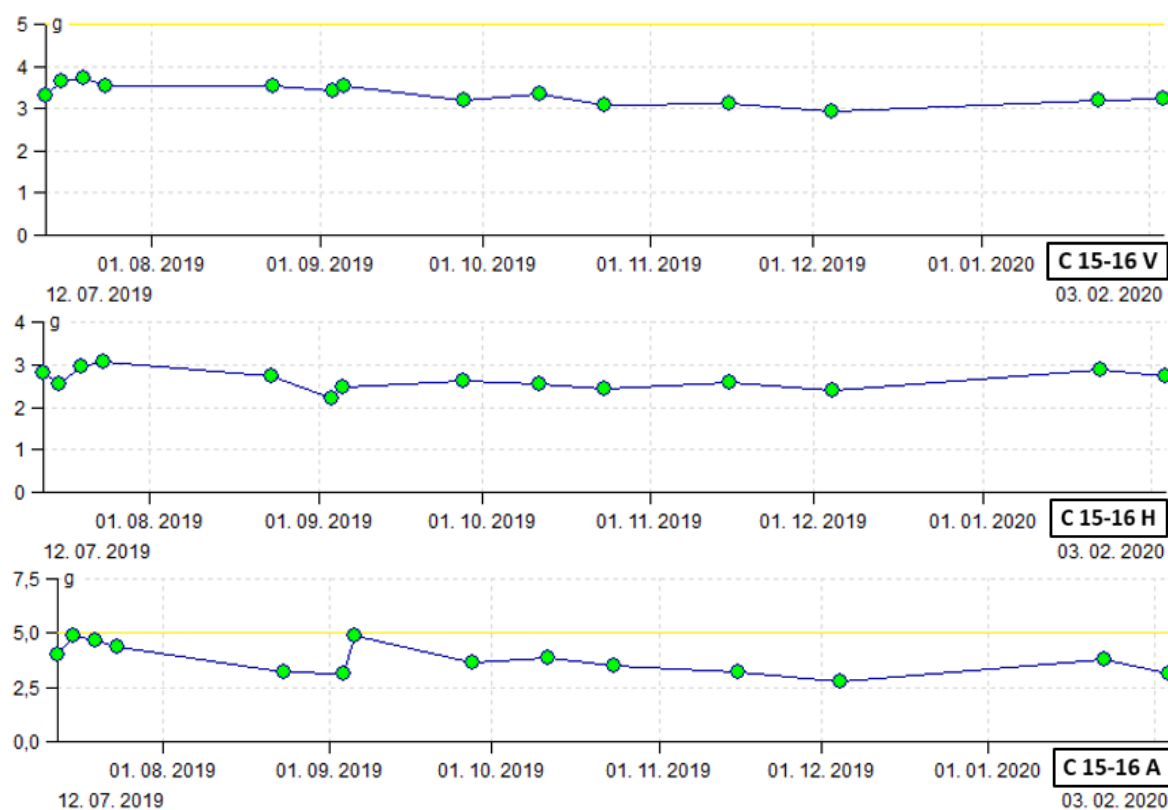
Obrázek 37 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 16) [autor]

Z naměřených hodnot rychlosti a zrychlení vibrací vyplývá téměř ustálený vyhovující stav elektromotoru (Bod 15, 16). Vibrace se nacházejí v pásmu B. Doporučení: nadále provádět pravidelná měření.

5.3.4 Zubové čerpadlo (Bod C 15-16)



Obrázek 38 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 15-16) [autor]

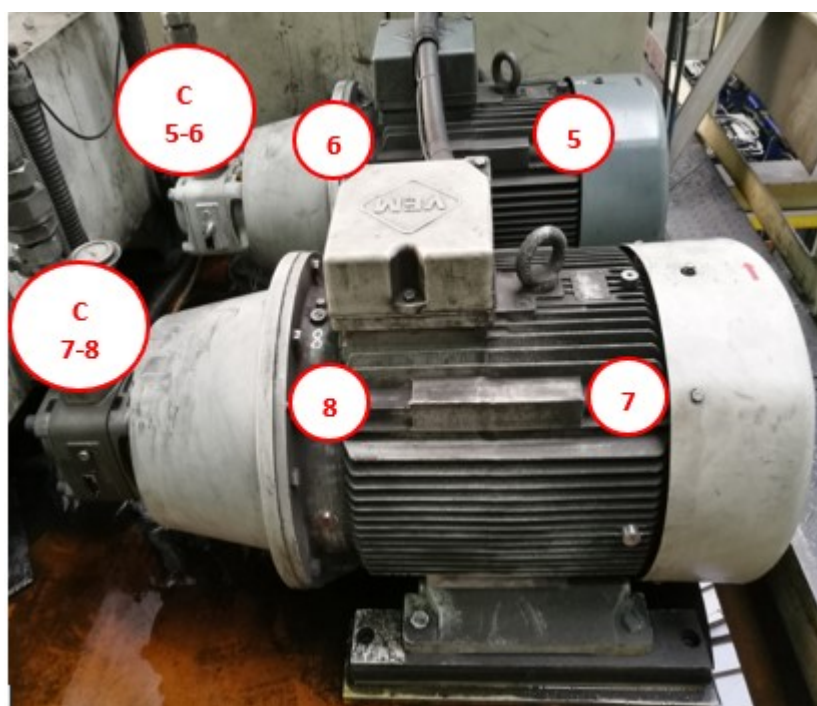


Obrázek 39 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 15-16) [autor]

Hodnoty rychlosti vibrací dosahují ve všech směrech v průměru kolem 3 mm/s, což značí vyhovující stav čerpadla. U zrychlení vibrací jsou nejvyšší hodnoty zaznamenány v axiálním směru. Blíží se k pásmu C, nicméně tato hranice ještě překročena nebyla. Doporučení: nadále provádět pravidelná měření.

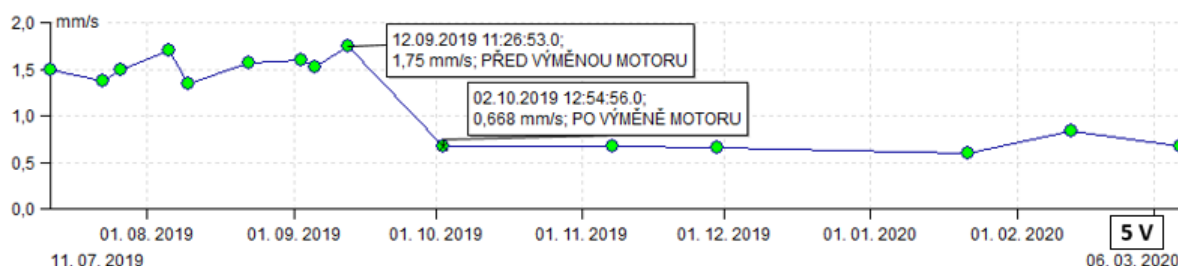
5.4 Vyhodnocení měření na DKB A12

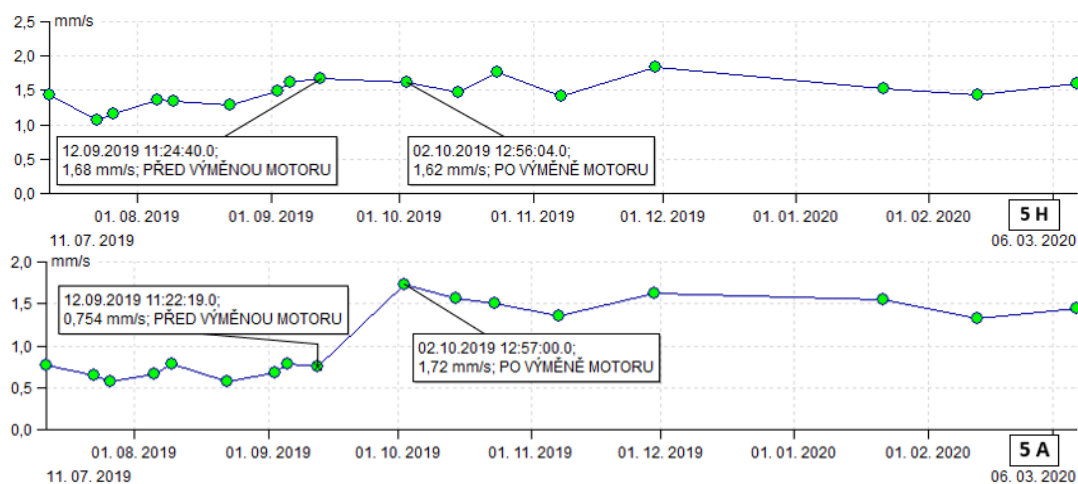
Na tvářecí lince DKB A12 bylo provedeno celkem 17 měření elektromotorů včetně zubových čerpadel. Akcelerometr byl umístěn na měřicích místech ve třech směrech (V – vertikálním, H – horizontálním, A – axiálním) podle obrázků 18 a 20 (kapitola 4.1 a 4.2). Na obrázku 40 je uvedeno číslování ložisek elektromotorů a označení zubových čerpadel. Dále jsou přidány výsledky měření s náležitými popisy.



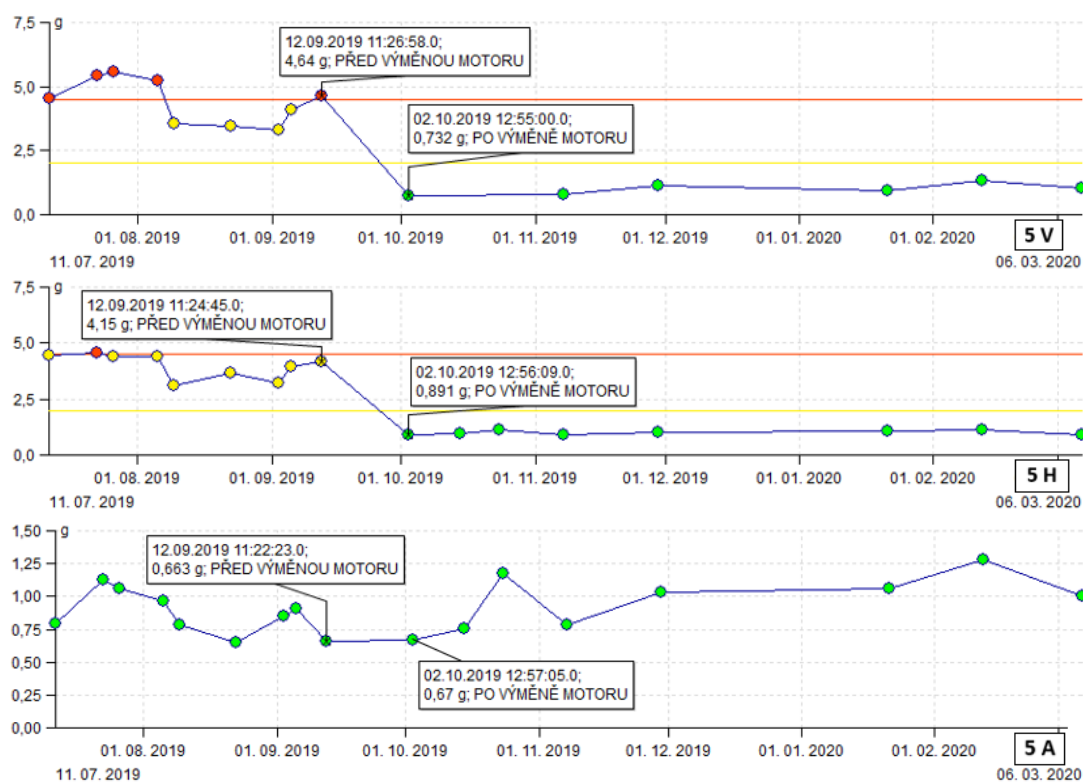
Obrázek 40 – Označení elektromotorů včetně zubových čerpadel na DKB A12 [autor]

5.4.1 Elektromotor (Bod 5, 6)

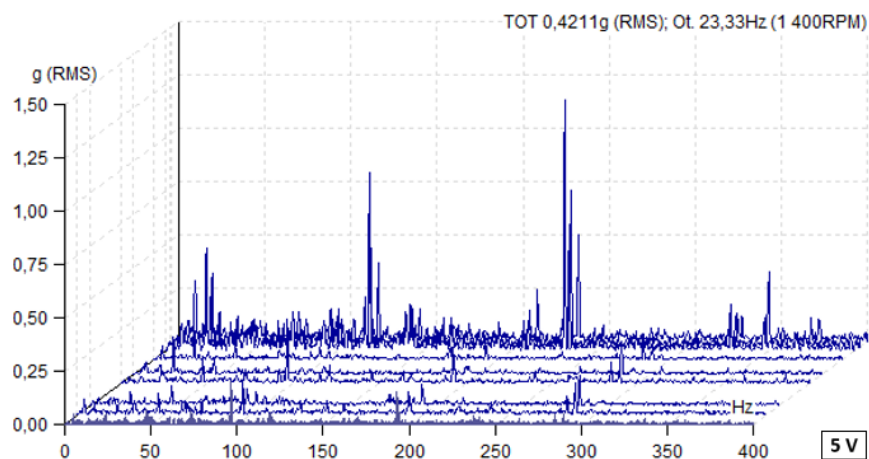


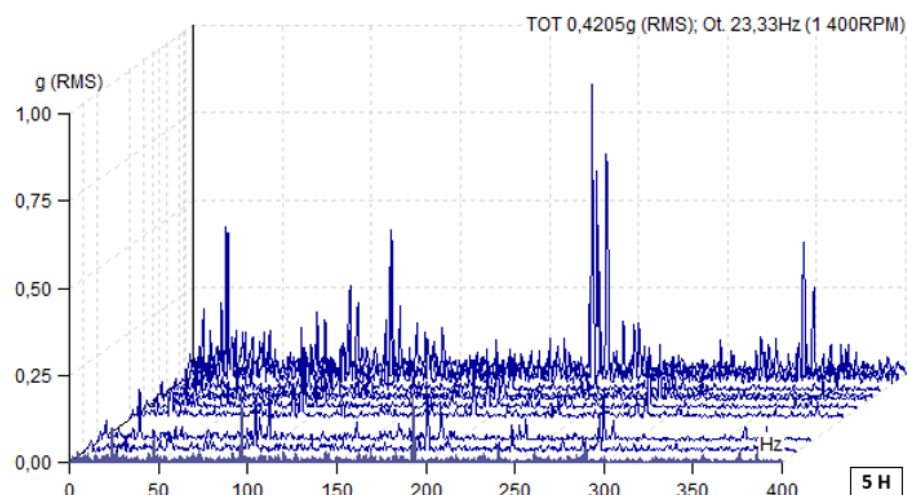


Obrázek 41 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 5) [autor]

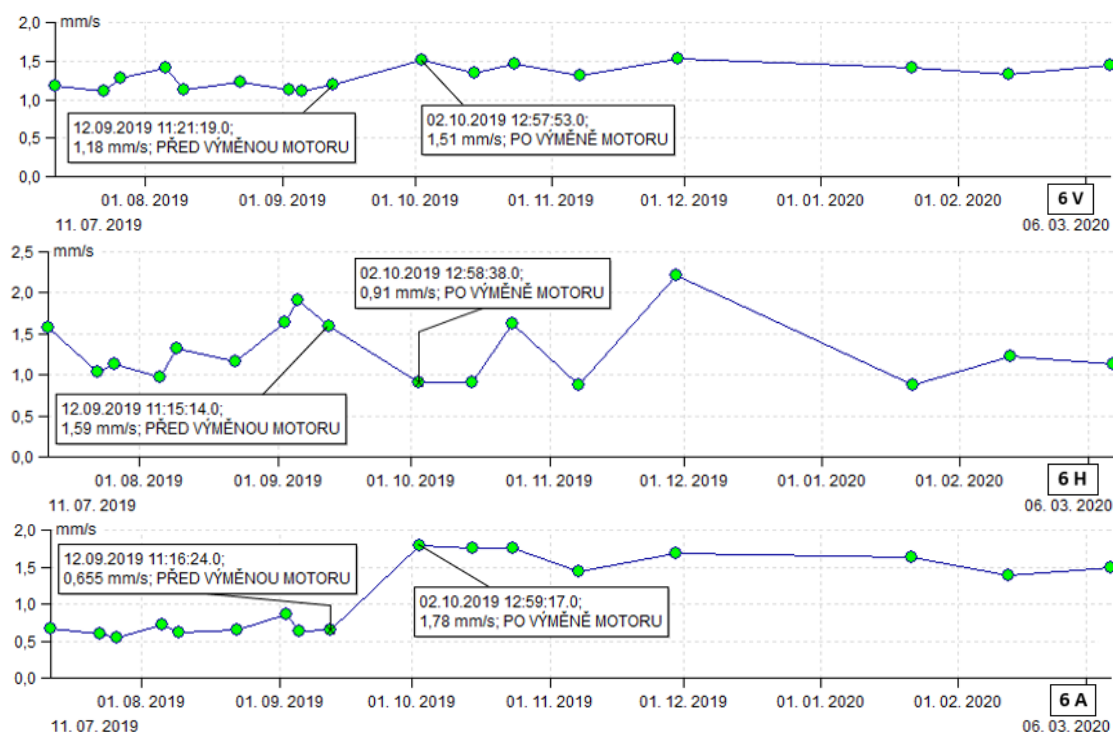


Obrázek 42 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 5) [autor]

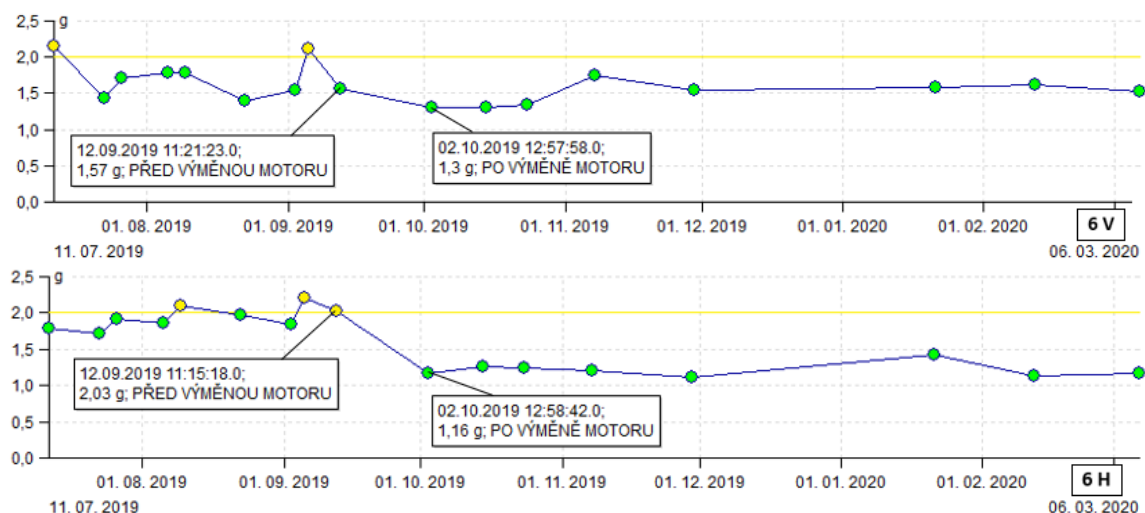


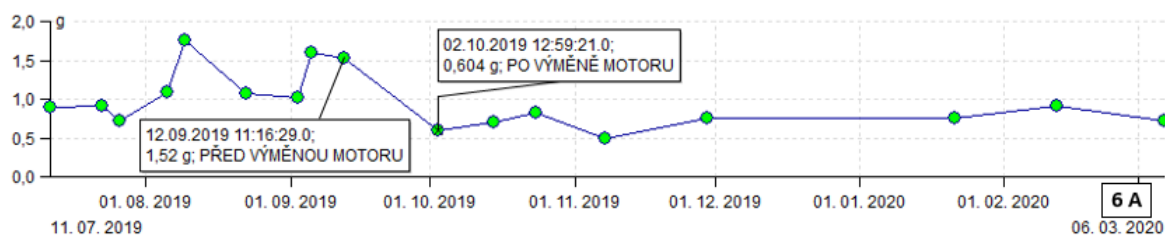


Obrázek 43 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 5) [autor]

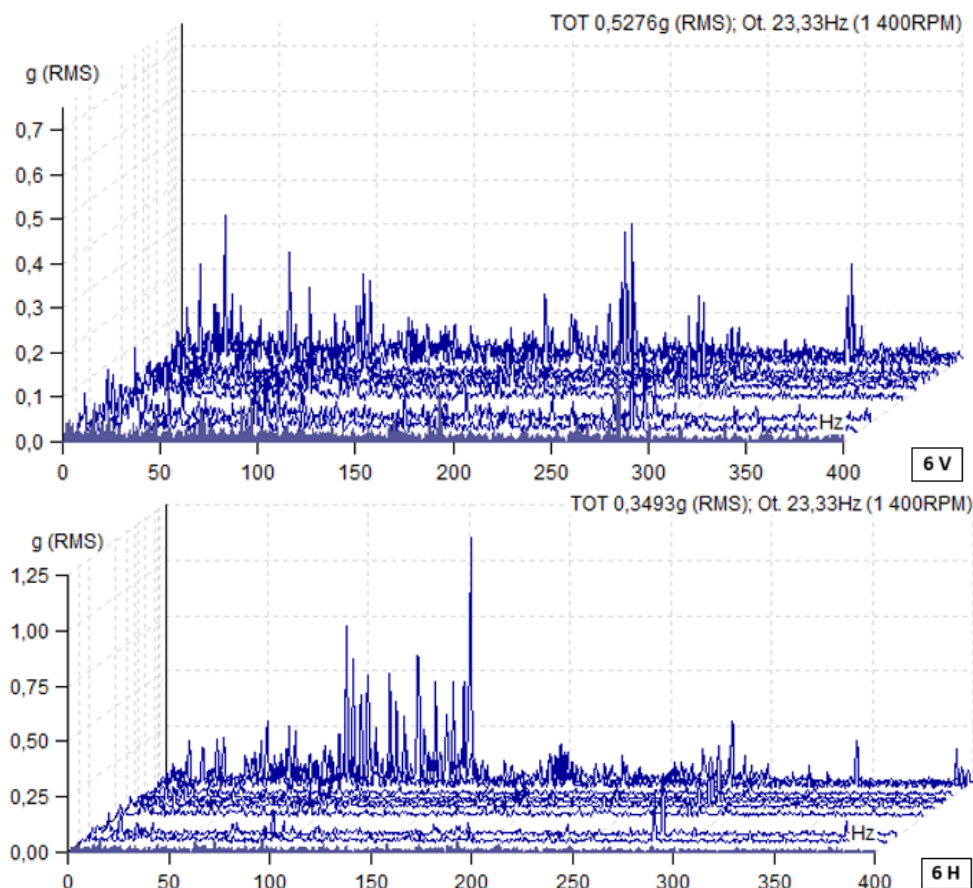


Obrázek 44 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 6) [autor]





Obrázek 45 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 6) [autor]



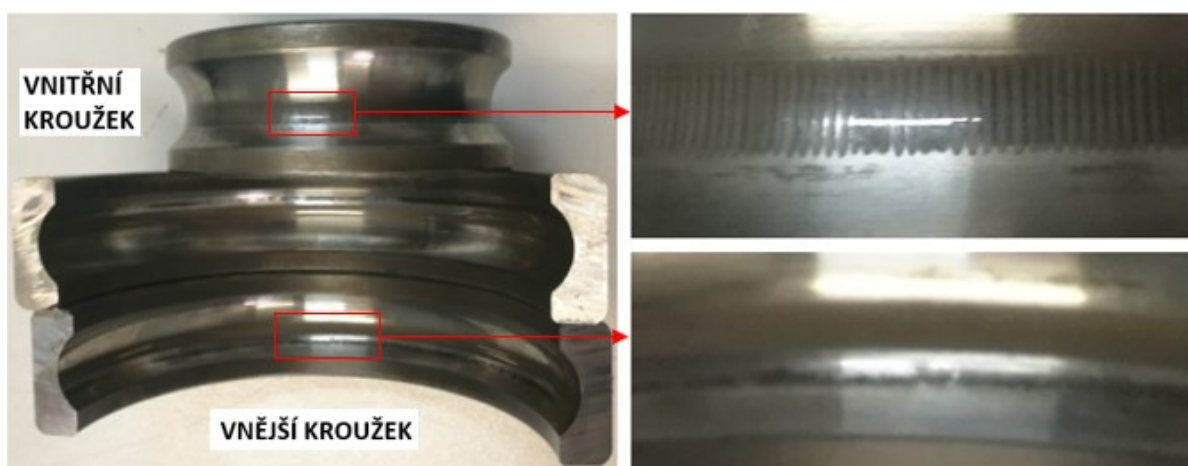
Obrázek 46 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 6) [autor]

Hodnoty rychlosti vibrací v bodech 5 a 6 jsou ve vyhovujícím stavu. Pouze v axiálních směrech došlo k mírnému nárůstu vibrací. Tato změna však není enormní a byla zaznamenána až po výměně motoru.

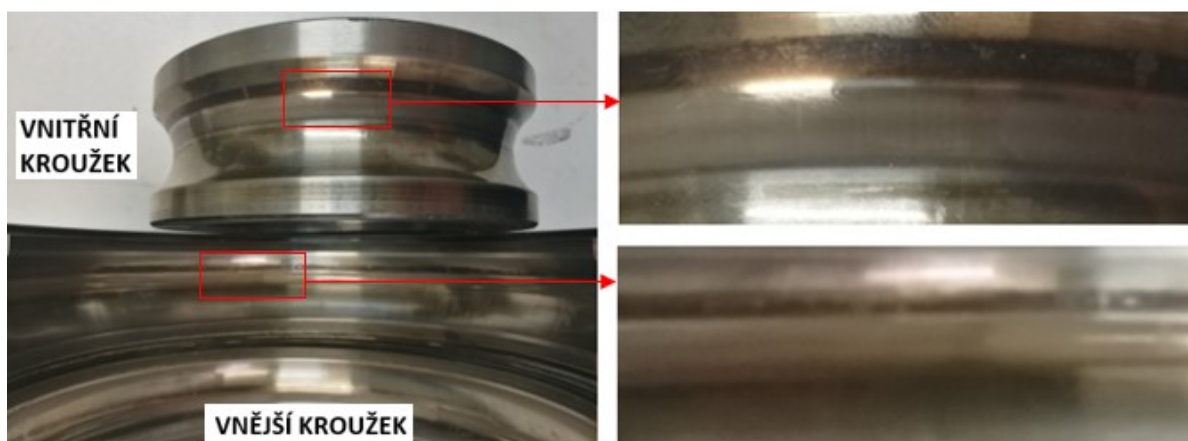
Plánovaná výměna motoru se uskutečnila v druhé polovině září 2019 (při preventivní údržbě) z důvodu vysokých hodnot zrychlení vibrací v bodě 5 ve vertikálním a horizontálním směru. Bod 6 se od začátku měření (červenec 2019) nacházel v pásmu B, následně se stav zhoršil až na pásmo C.

Důvodem zmiňovaných vysokých hodnot zrychlení vibrací bylo značné poškození ložiska 5 a méně závažné poškození ložiska 6. O poškození ložisek vypovídají i spektra obálky, kde rozdíl mezi poškozeným a novým ložiskem lze nejlépe vidět na obrázku 43 (horizontální a vertikální směr) a na obrázku 46 (horizontální směr).

Níže jsou uvedeny obrázky 47 a 48, na kterých jsou zobrazeny vypreparované vnější a vnitřní kroužky ložisek 5 a 6 s detaily poškození. Nejvíce viditelný defekt je na vnitřním kroužku ložiska 5, kde je na povrchu mimostředně vytvořena vroubkovaná dráha vlivem průchodu elektrického proudu valivým kontaktem [21]. Ložisko 6 má podobně vytlačenou dráhu na vnitřním kroužku, avšak ne v takovém rozsahu jako ložisko 5. Mimostřednost drah mohla vzniknout špatnou montáží ložisek. Jelikož se ložiska při provozu elektromotoru zahřívají, dochází vlivem tepelné dilatace k axiálnímu posuvu ložisek po hřídeli na stranu menšího odporu. Tento jev se může za určitou dobu projevit vytlačenou mimostřednou obvodovou dráhou na povrchu vnitřních či vnějších kroužků ložiska, jako v tomto případě.

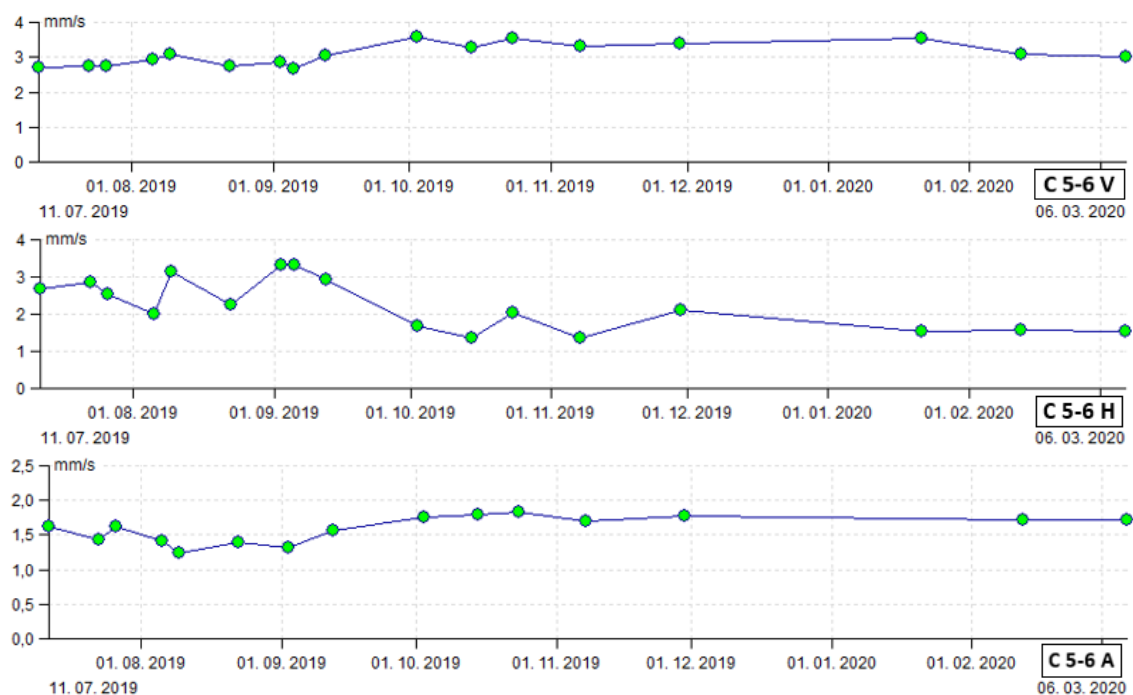


Obrázek 47 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 5 [autor]

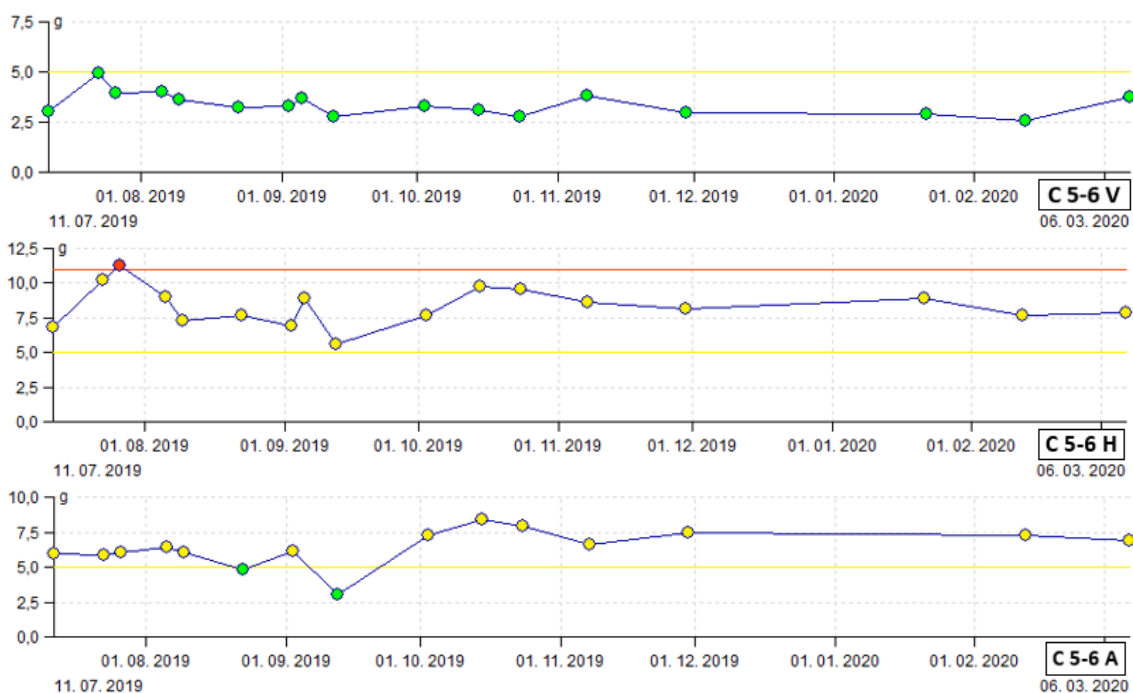


Obrázek 48 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 6 [autor]

5.4.2 Zubové čerpadlo (Bod C 5-6)



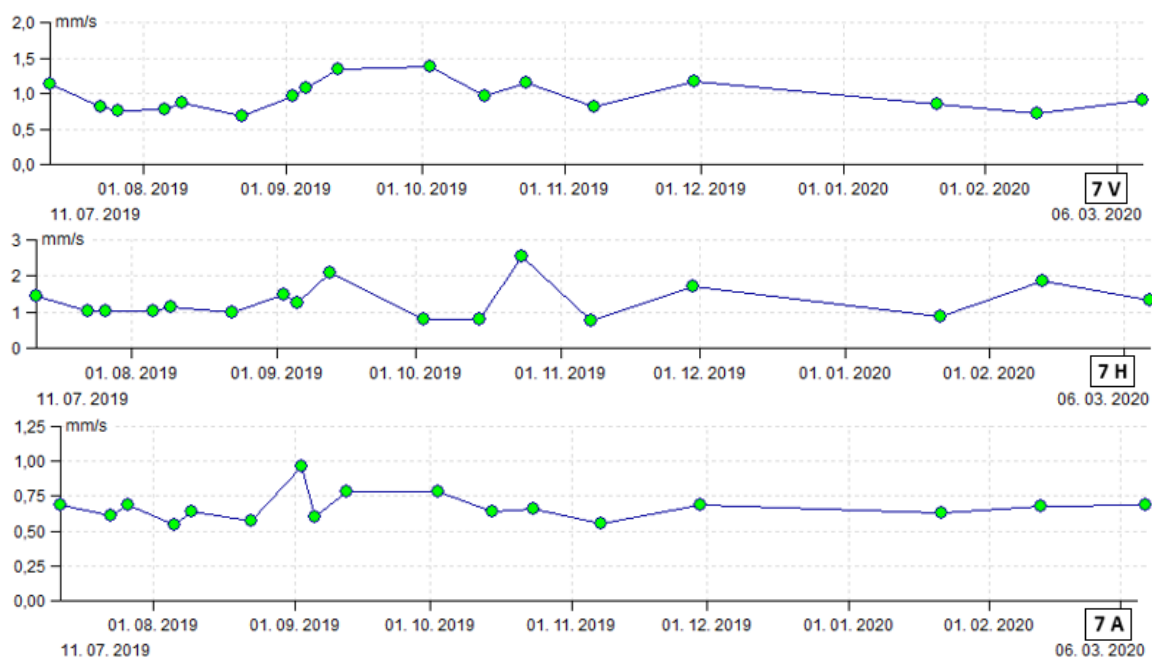
Obrázek 49 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 5-6) [autor]



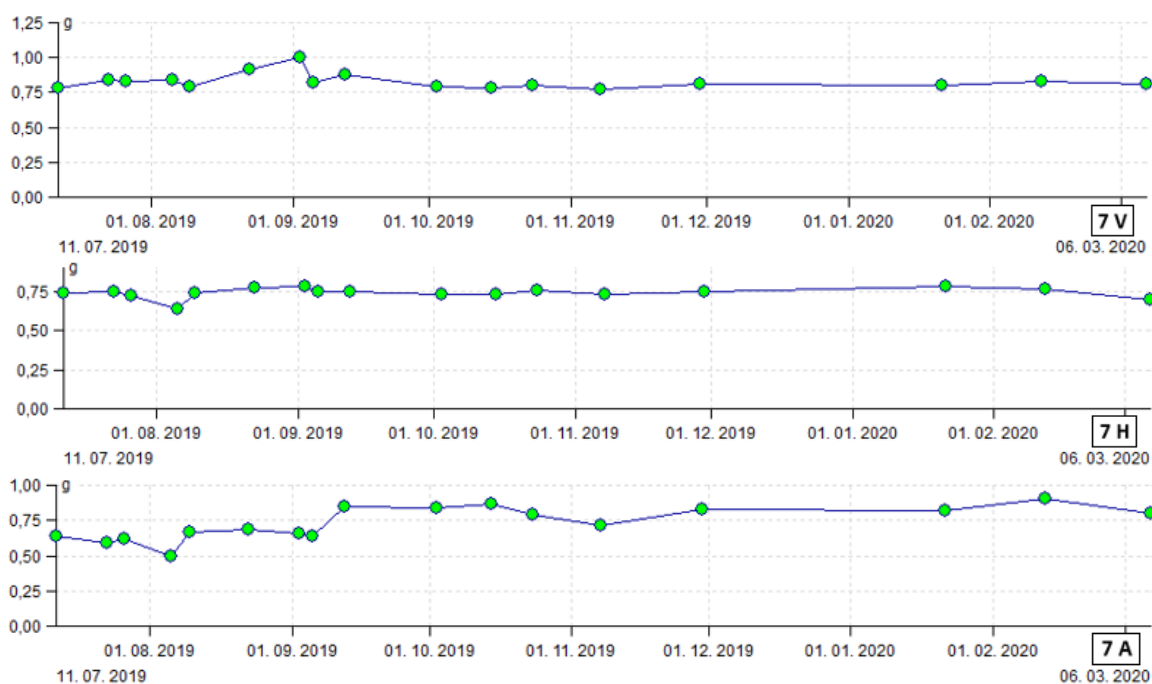
Obrázek 50 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 5-6) [autor]

Rychlost vibrací dosahuje ve všech směrech pásmo B – vyhovující stav. Hodnoty zrychlení vibrací jsou v horizontálním a axiálním směru ve zhoršeném ustáleném stavu (pásmo C). Doporučení: nadále provádět pravidelná měření. Pokud by došlo k dalšímu nárůstu hodnot zrychlení vibrací (Pásmo D), bude zapotřebí naplánovat výměnu čerpadla.

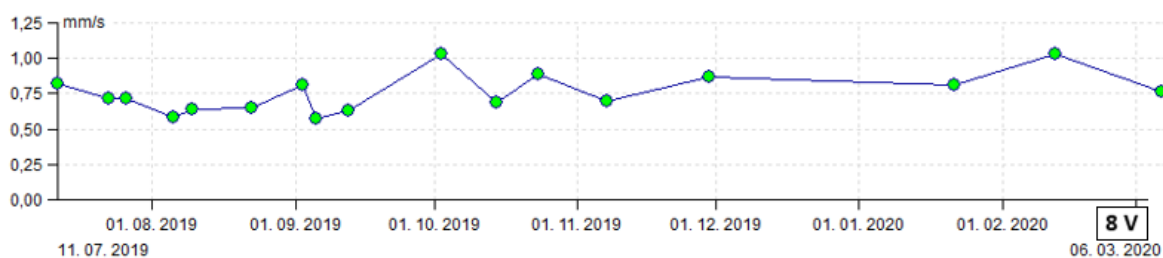
5.4.3 Elektromotor (Bod 7, 8)

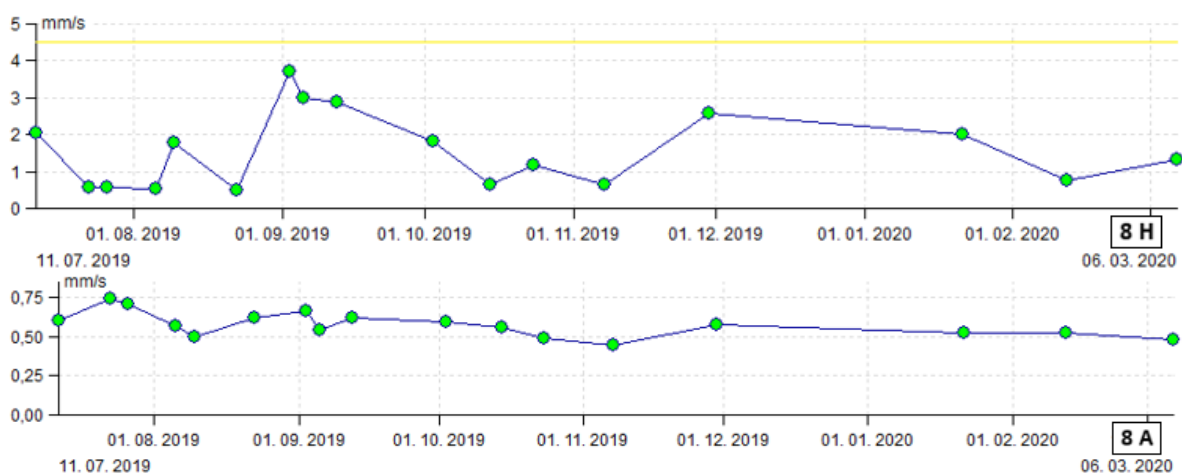


Obrázek 51 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 7) [autor]

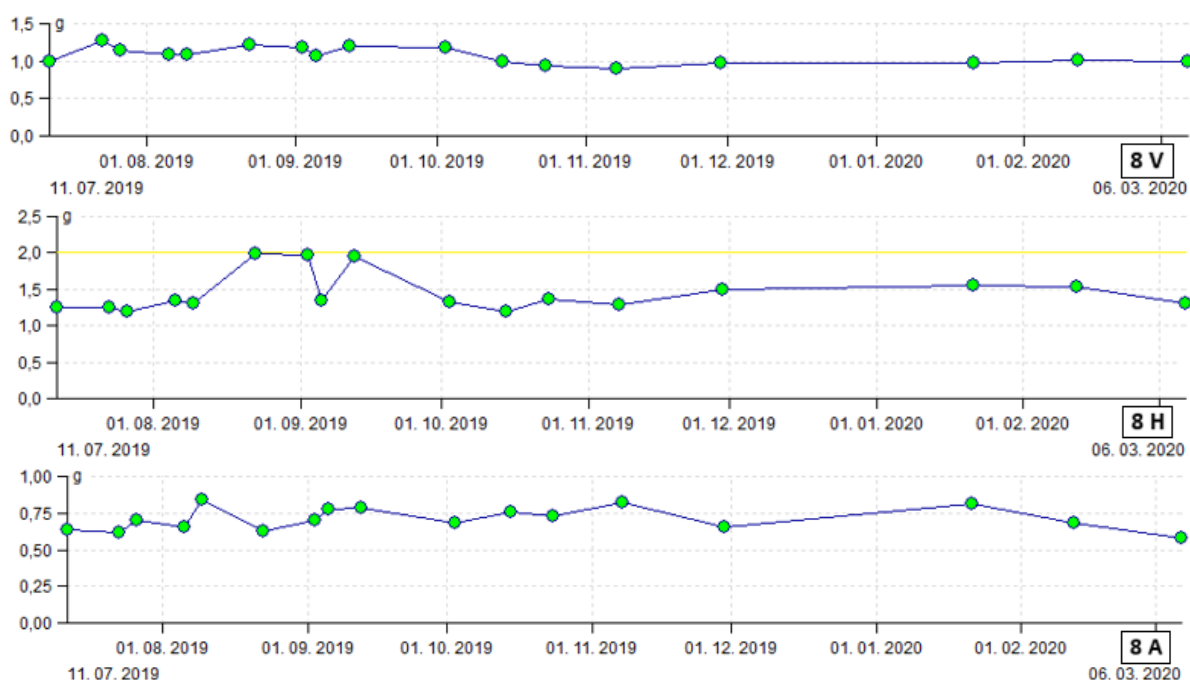


Obrázek 52 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 7) [autor]





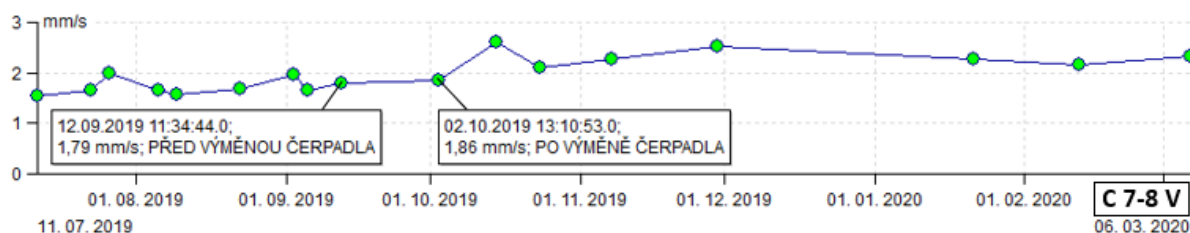
Obrázek 53 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 8) [autor]

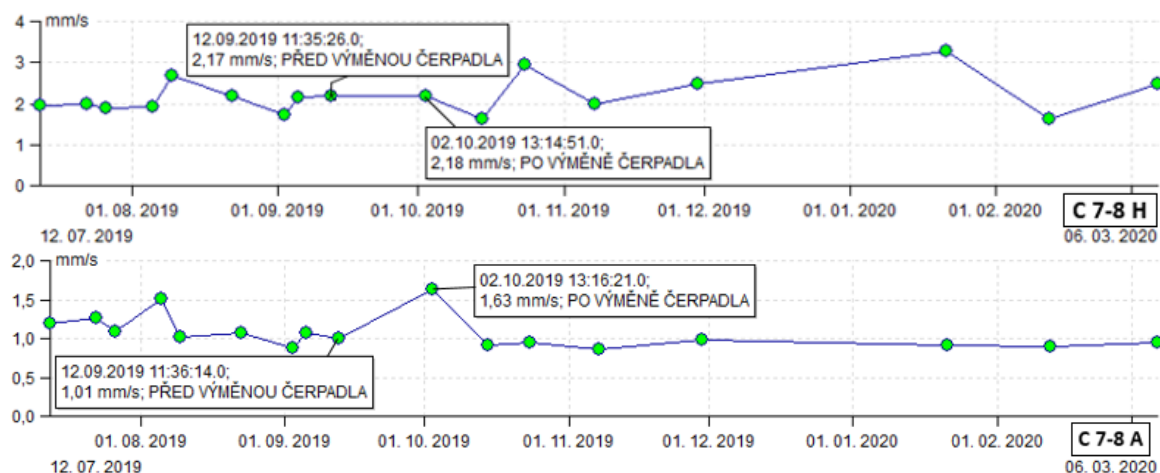


Obrázek 54 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 8) [autor]

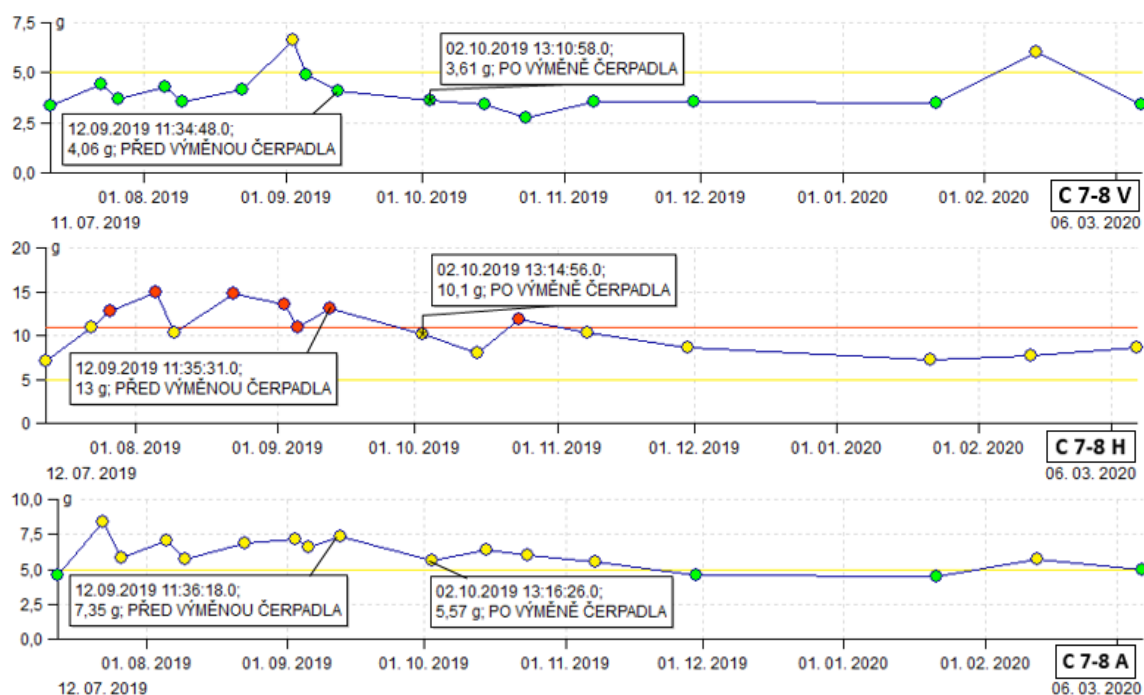
Z uvedených trendů rychlosti a zrychlení vibrací vyplívá vyhovující stav elektromotoru (Bod 7, 8) – vibrace se nacházejí v pásmu B. Doporučení: nadále provádět pravidelná měření.

5.4.4 Zubové čerpadlo (Bod C 7-8)

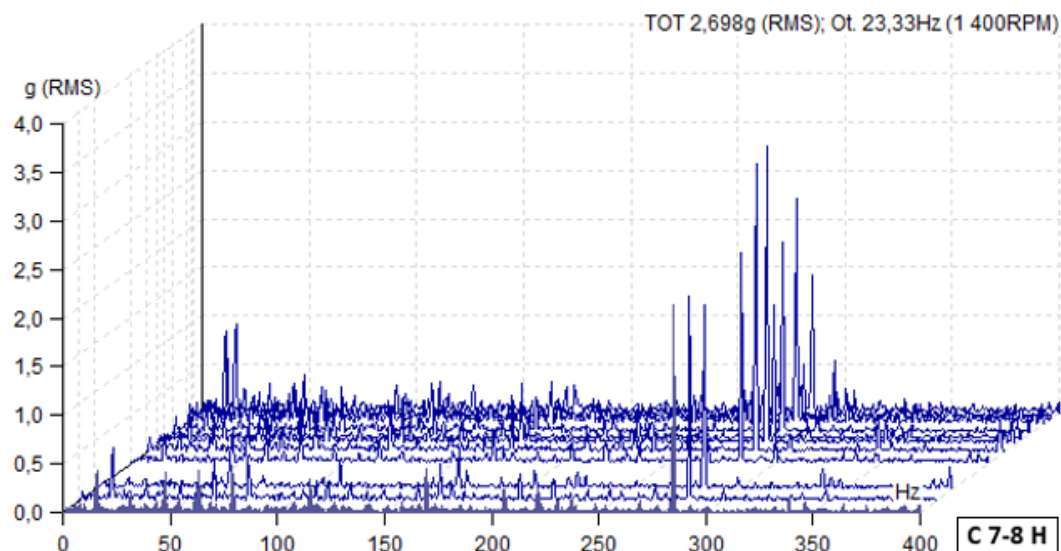


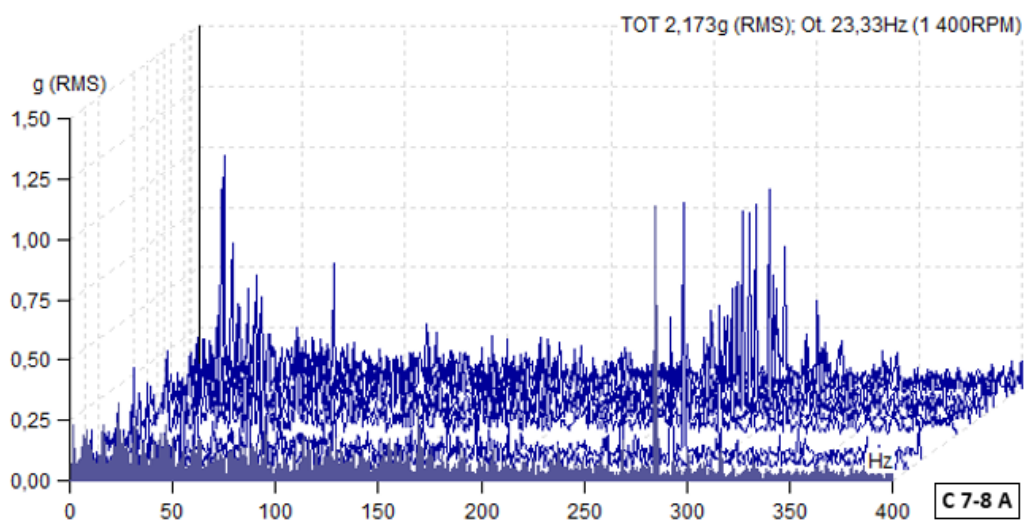


Obrázek 55 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 7-8) [autor]



Obrázek 56 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 7-8) [autor]





Obrázek 57 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod C 7-8) [autor]

Rychlost vibrací je ve všech směrech v ustáleném vyhovujícím stavu – pásmo B. Hodnoty zrychlení vibrací od začátku měření (červenec 2019) narůstaly, především v horizontálním a axiálním směru. Proto již začátkem srpna 2019 bylo doporučeno čerpadlo vyměnit. Jelikož se stejné čerpadlo měnilo již jednou během krátké doby (necelý rok), nechalo se v provozu v co nejdelší možnou dobu. V polovině září 2019 se stav čerpadla rapidně zhoršil – vykazovalo nadměrnou hlučnost a již nebylo schopno vyprodukovat potřebný tlak do systému.

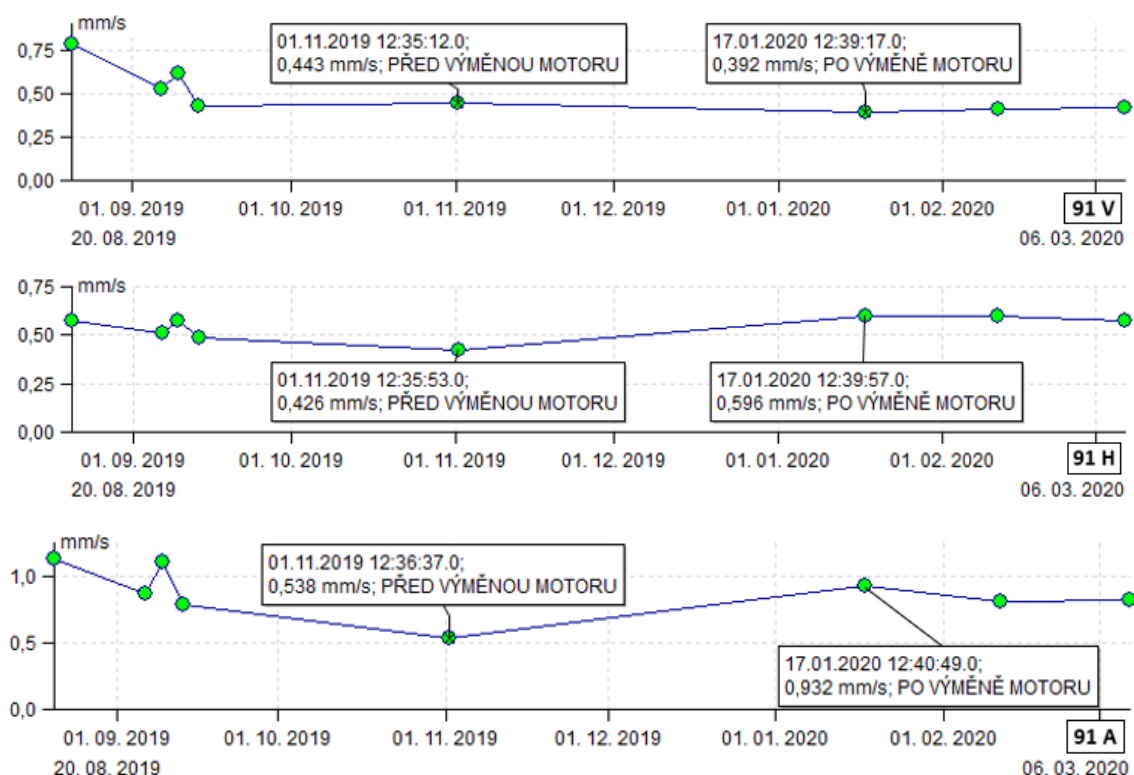
Z těchto závažných důvodů byla při preventivní údržbě (2. pol. září 2019) provedena výměna čerpadla (Bod C 7-8). Z uvedených trendů zrychlení vibrací je vidět mírné zlepšení hodnot zrychlení vibrací, stav stále zhoršený – pásmo C. Podobně jsou na tom i čerpadla Rexroth na DKB A14 (kapitola 5.5.2 a 5.5.4).

Doporučení: z uvedených dat a sdělených informací o častých výměnách čerpadel Rexroth nedoporučuji nadále používat čerpadla značky Rexroth. Při dalším selhání čerpadel Rexroth doporučuji nahradit spolehlivější značkou Eckerle.

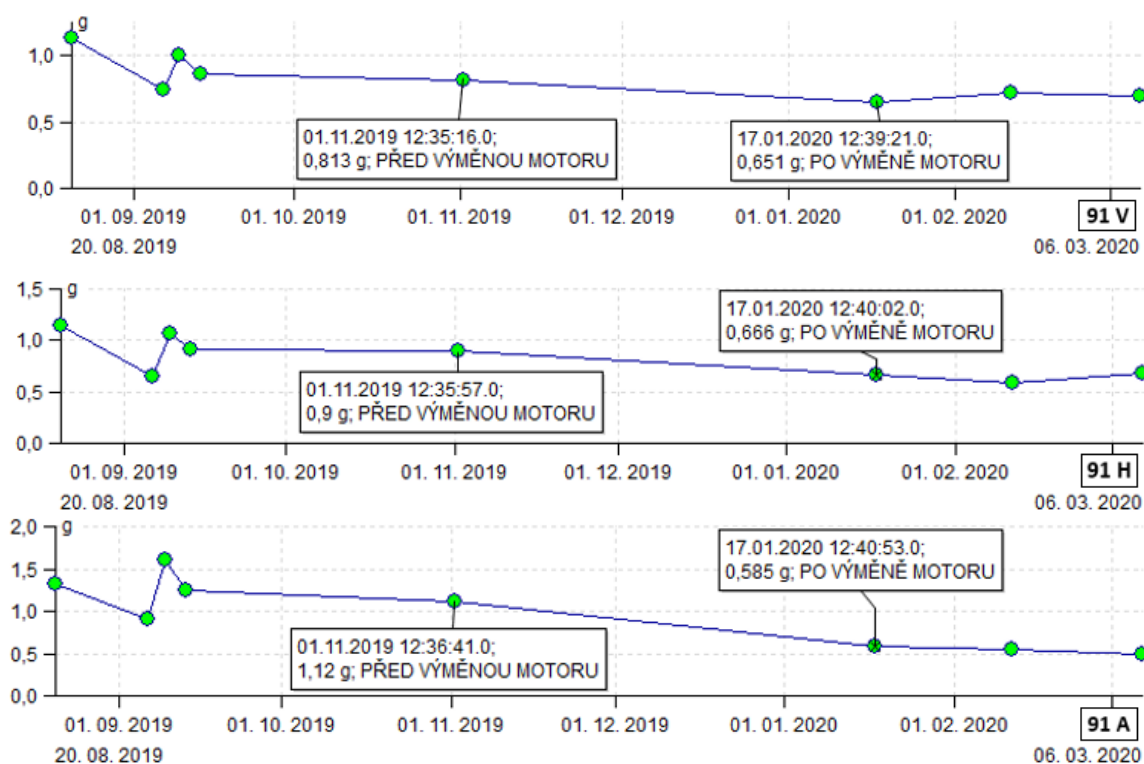
5.5 Vyhodnocení měření na DKB A14

Na výrobním zařízení DKB A14 se uskutečnilo 8 měření elektromotorů včetně zubových čerpadel. Snímač vibrací byl umístěn na měřících místech ve třech směrech (V – vertikálním, H – horizontálním, A – axiálním) podle obrázků 18 a 20 (kapitola 4.1 a 4.2). Na obrázku 18 je též uvedeno číslování ložisek elektromotorů a na obrázku 20 označení zubových čerpadel. Dále jsou přidány výsledky z měření s náležitými popisy.

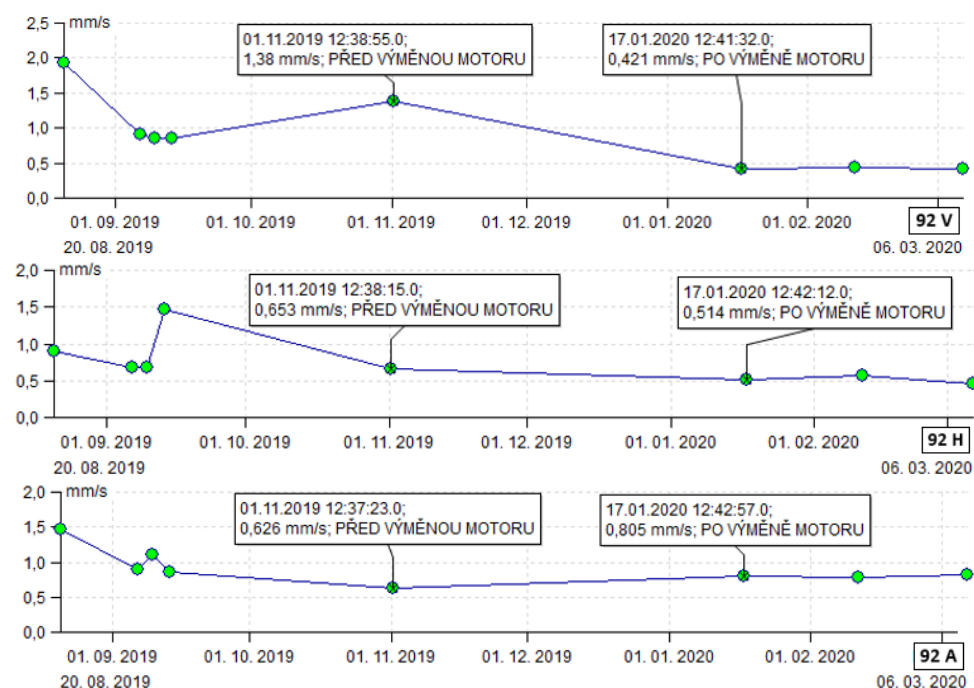
5.5.1 Elektromotor (Bod 91, 92)



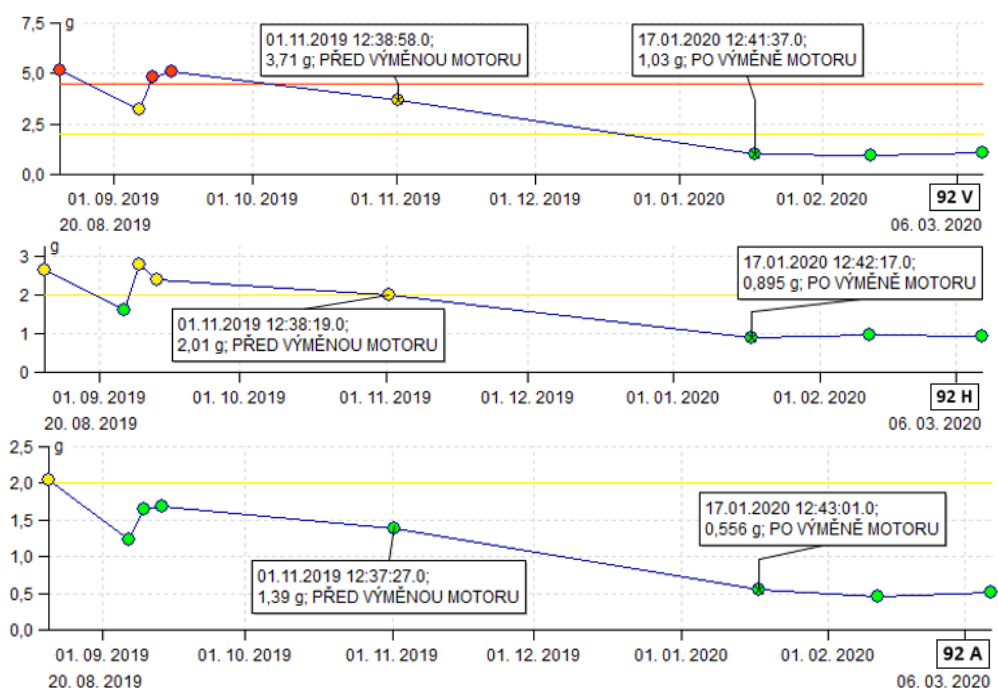
Obrázek 58 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 91) [autor]



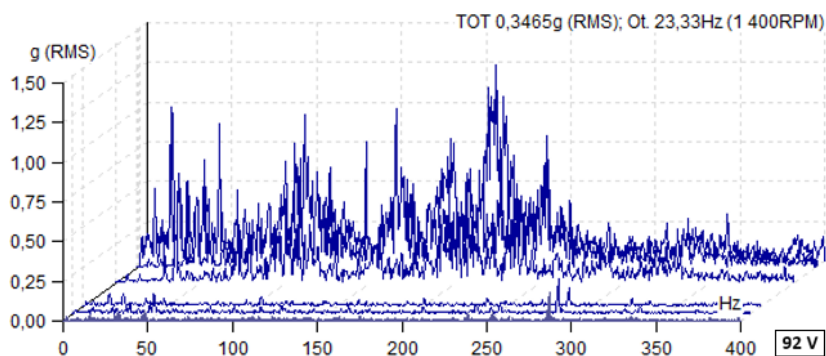
Obrázek 59 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 91) [autor]

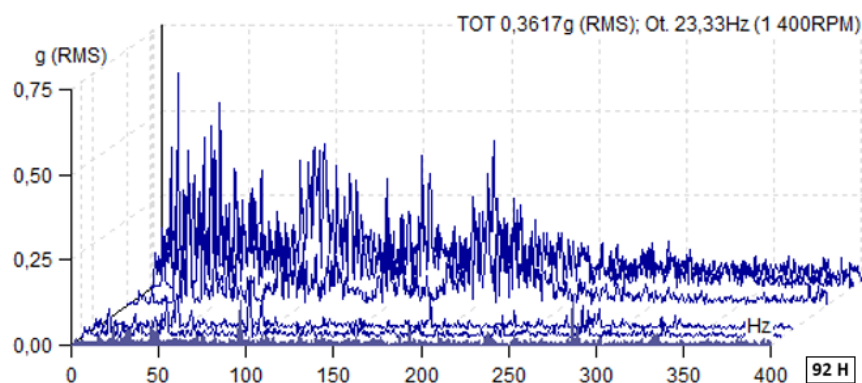


Obrázek 60 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 92) [autor]



Obrázek 61 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 92) [autor]



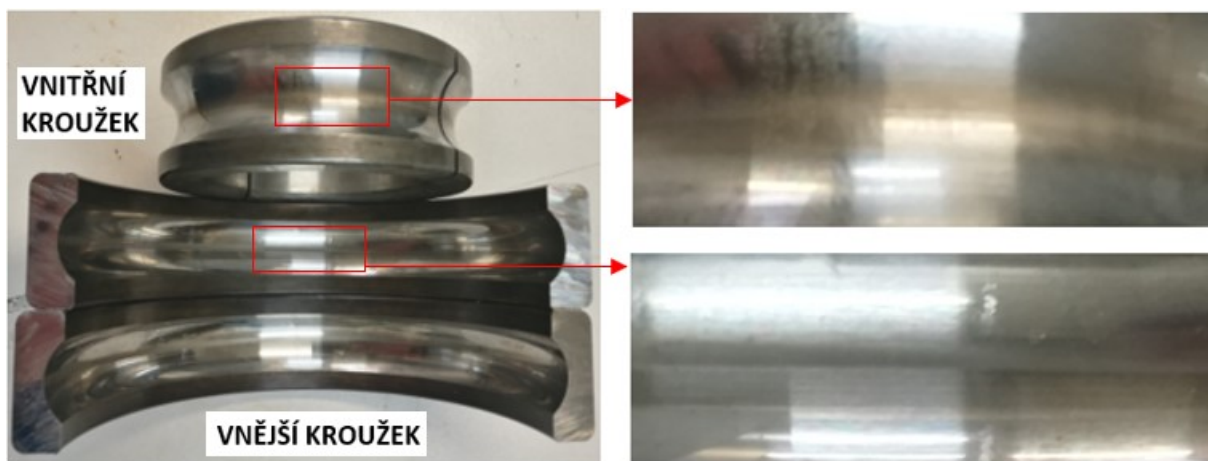


Obrázek 62 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 92) [autor]

Z uvedených trendů rychlosti vibrací lze vyčíst vyhovující stav elektromotoru po celou dobu měření. Naměřené hodnoty zrychlení vibrací v bodě 91 dosahovaly též vyhovujícího stavu. Problém nastal v bodě 92, kde hodnoty zrychlení dosahovaly pásmo D ve vertikálním směru a pásmo C v horizontálním směru.

Z důvodu nepříznivého stavu ložiska 92 byla v polovině listopadu 2019 provedena při preventivní údržbě výměna motoru. Nový motor byl následně opatřen měřícími body ve stejných místech jako předchozí a následně několikrát změřen. Rozdíl mezi poškozeným a novým ložiskem 92 je pěkně viditelný v trendu zrychlení vibrací (obrázek 61), stejně tak i v kaskádě spekter zrychlení na obrázku 62.

Pro ověření správnosti měření bylo poškození ložisko 92 (obrázek 64) i bezvadné ložisko 91 (obrázek 63) demontováno z motoru a následně vypreparováno. Na obrázku 64 je možno pozorovat několik druhů poškození ložiska. V detailu oběžné dráhy vnějšího kroužku jsou vidět stopy od tvrdých nečistot vzniklé zaválcováním za chodu ložiska. Dále je tu rozsáhlá koroze na obou kroužcích. Na vnitřním kroužku lze také spatřit stopy od degradovaného maziva a též otlaky od kuliček vzniklé vibracemi při transportu (dle informací z výrobní společnosti, DKB A 14 bylo před rokem dovezeno ze zahraničí) [21], [22].

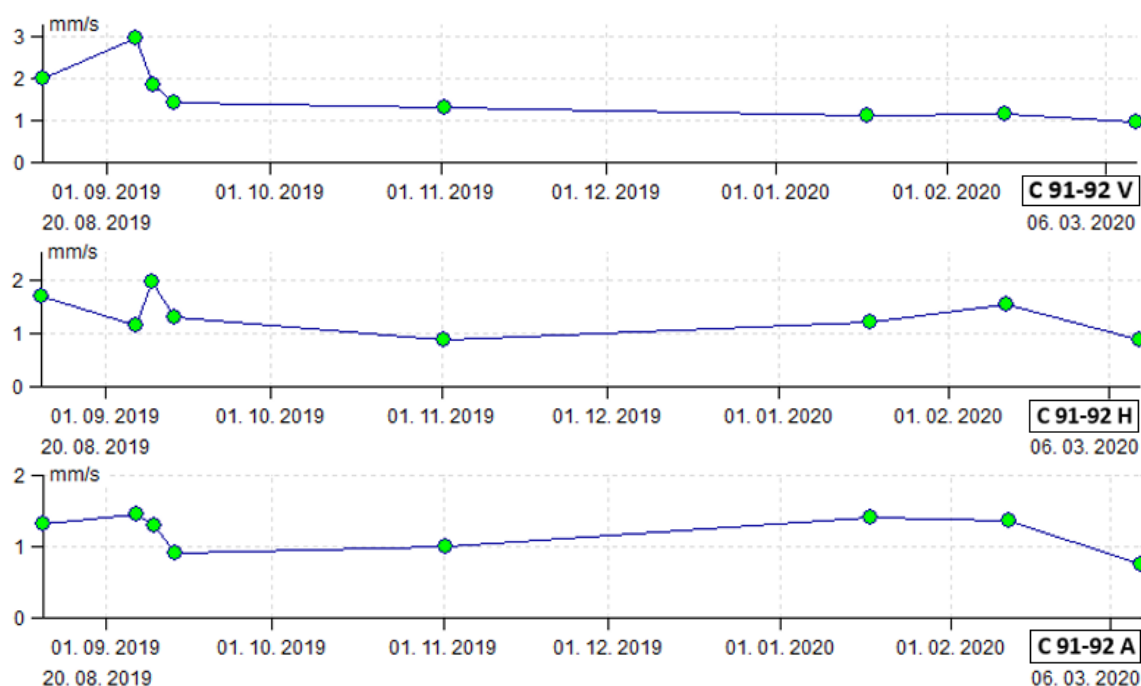


Obrázek 63 – Detail vnitřního a vnějšího kroužku ložiska 91 [autor]

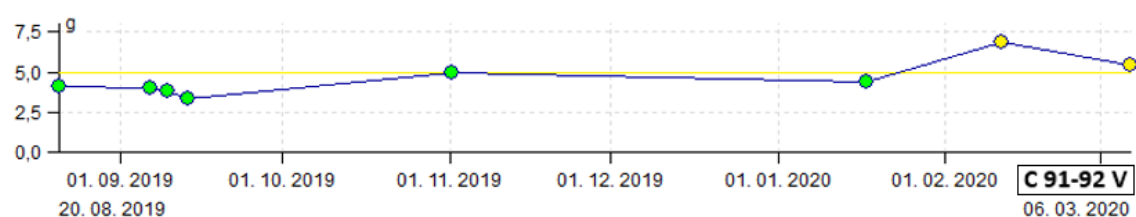


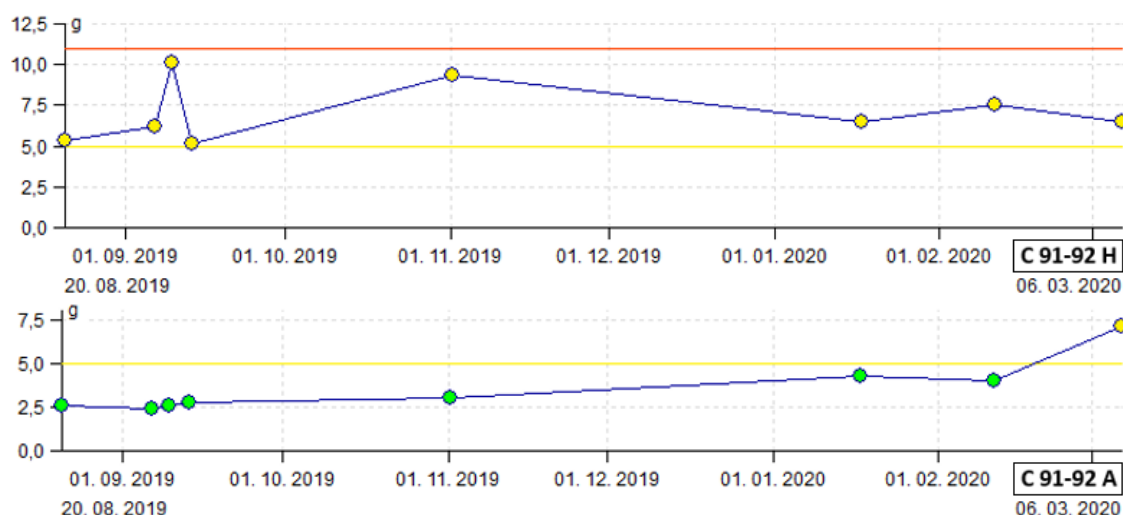
Obrázek 64 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 92 [autor]

5.5.2 Zubové čerpadlo (Bod C 91-92)



Obrázek 65 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 91-92) [autor]



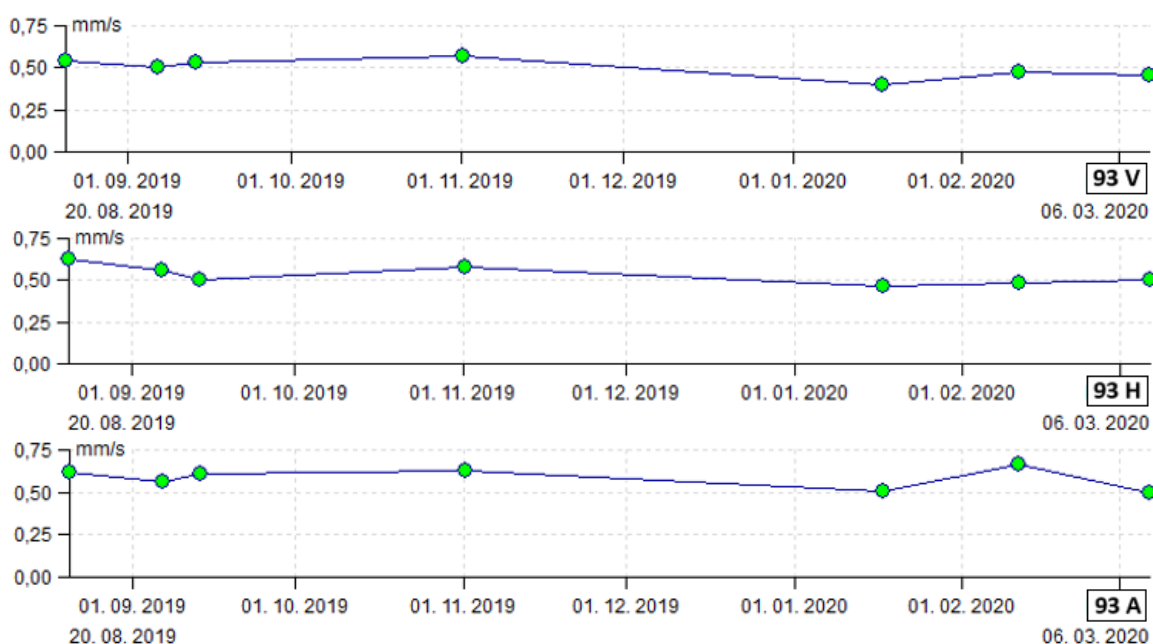


Obrázek 66 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 91-92) [autor]

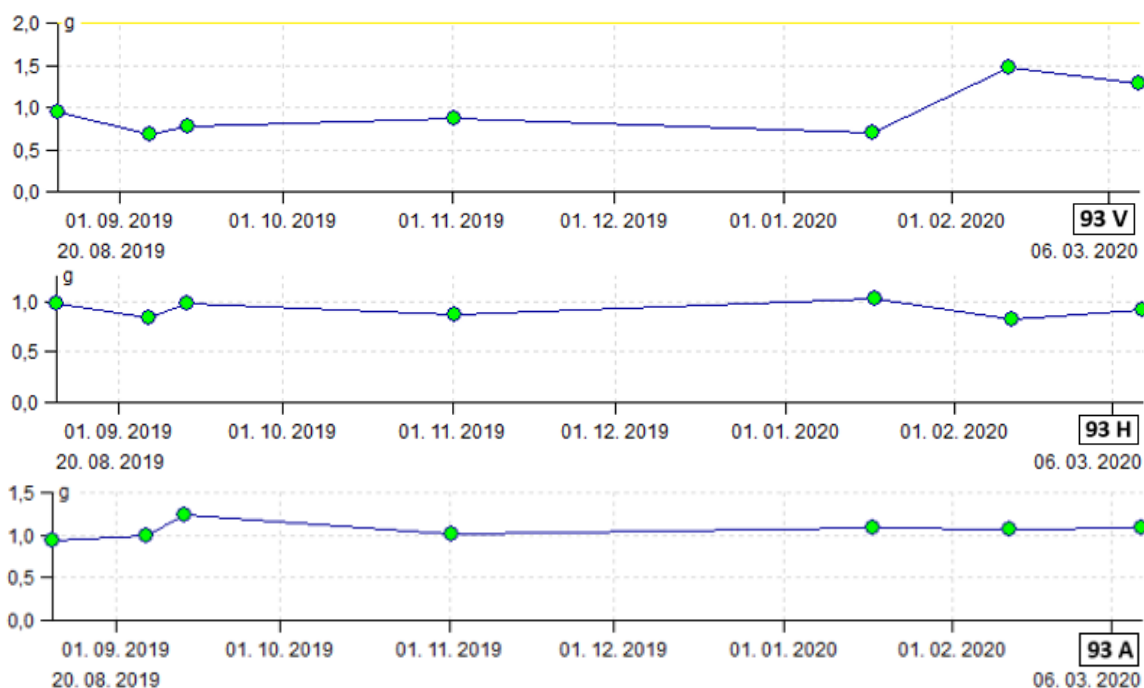
Rychlost vibrací dosahuje ve všech směrech vyhovující stav. Zrychlení vibrací dosahuje nejvyšších hodnot v horizontálním směru – ustálený zhoršený stav (pásmo C). Při posledním měření došlo k nárůstu zrychlení vibrací ve vertikálním i axiálním směru, což značí zhoršující se stav čerpadla.

Doporučení: provádět měření v kratších intervalech (1krát týdně); při dalším nárůstu hodnot zrychlení vibrací naplánovat výměnu čerpadla. Vzhledem k časté poruchovosti čerpadel Rexroth (viz čerpadla DKB A12) doporučuji nahradit čerpadly Eckerle.

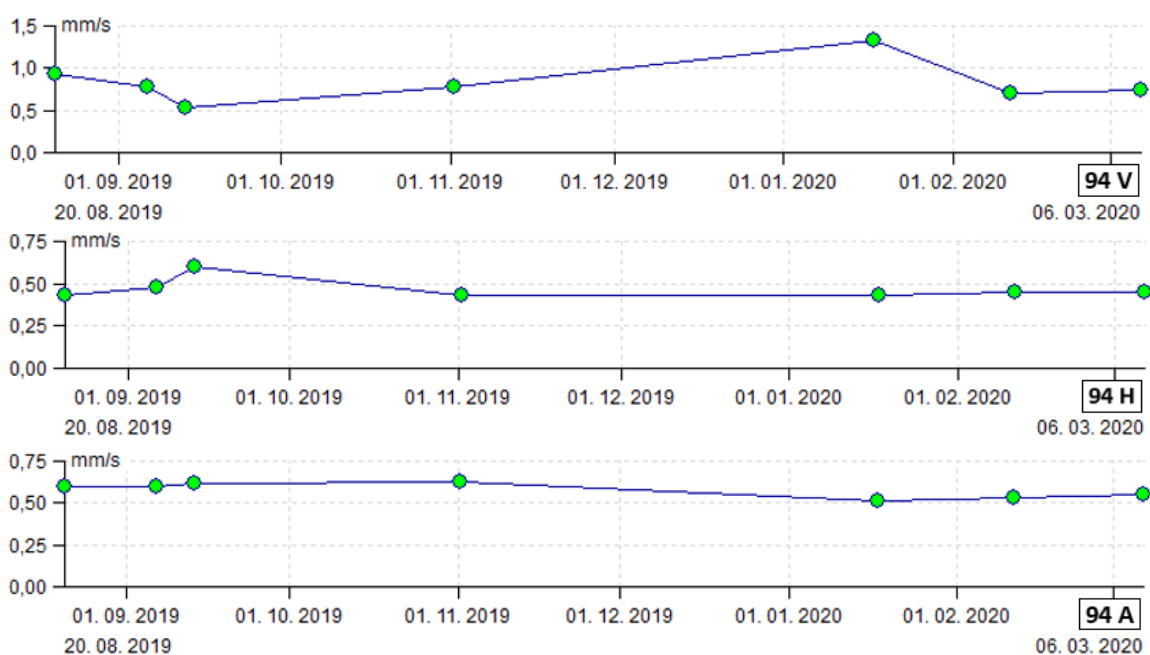
5.5.3 Elektromotor (Bod 93, 94)



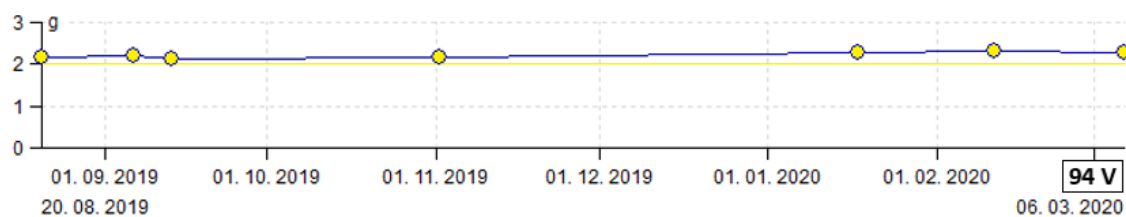
Obrázek 67 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 93) [autor]

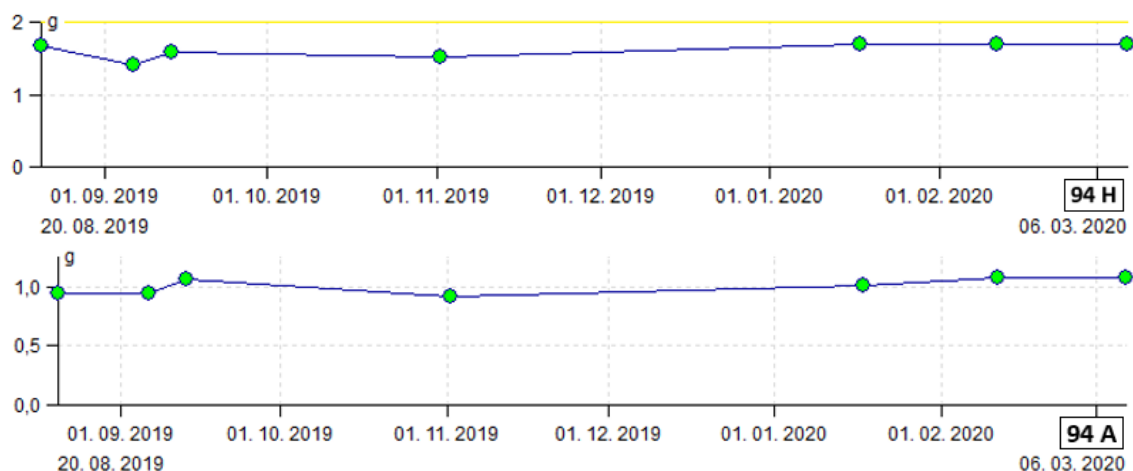


Obrázek 68 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 93) [autor]



Obrázek 69 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 94) [autor]



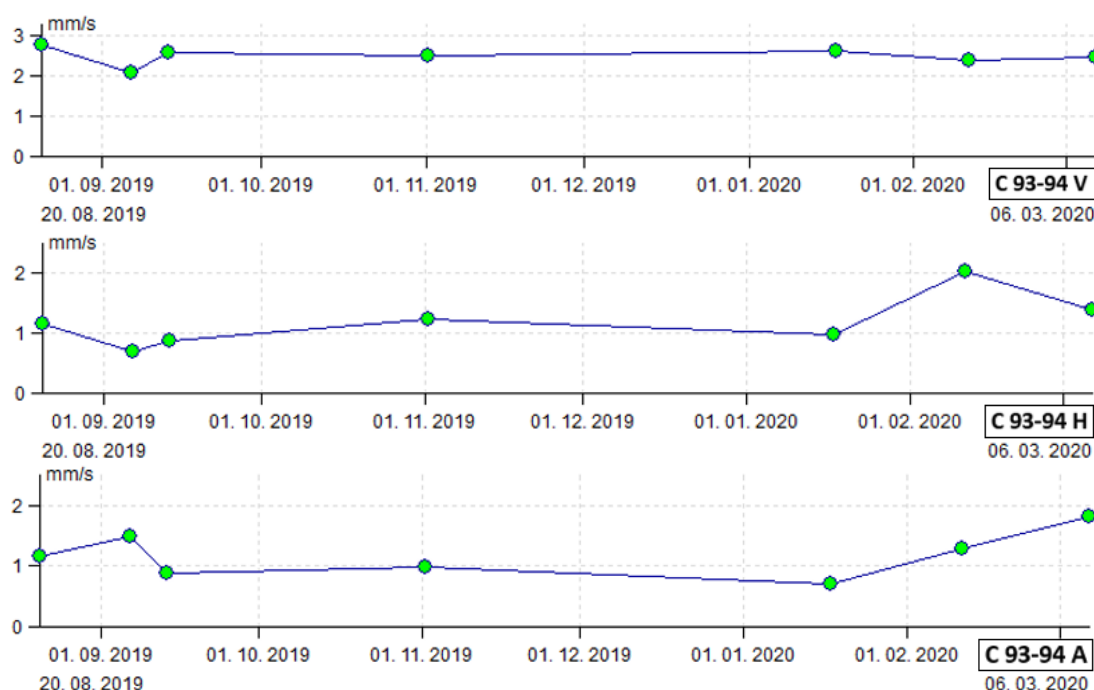


Obrázek 70 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 94) [autor]

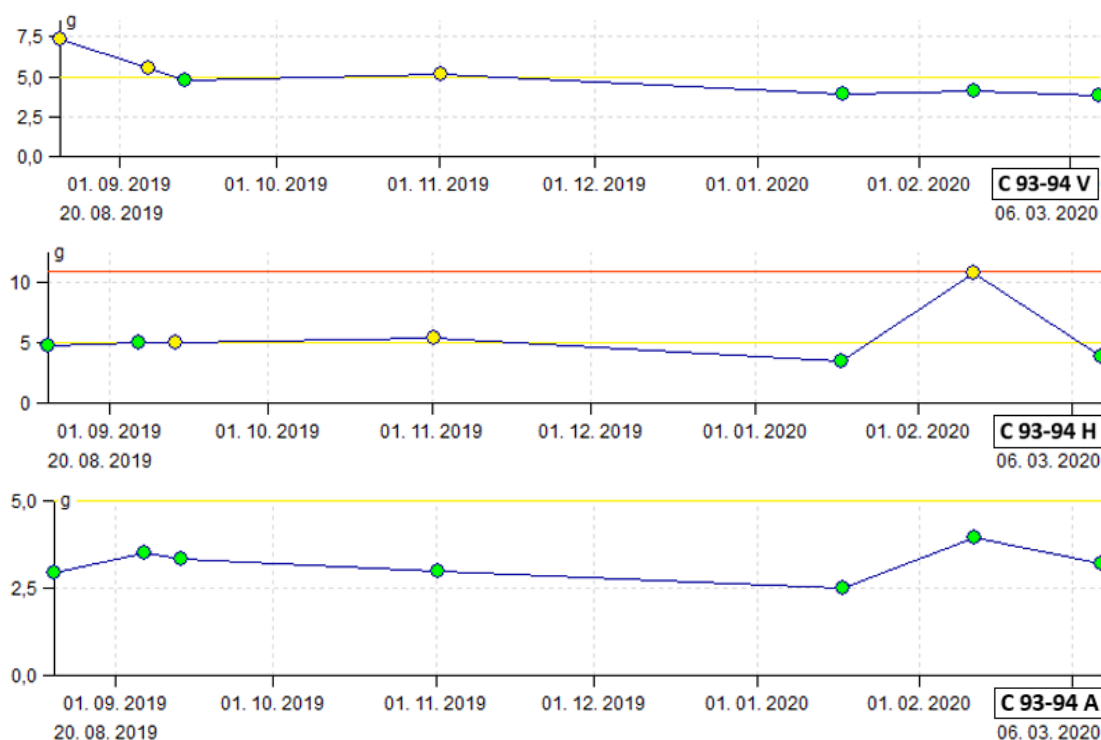
Všechny přiložené trendy rychlosti vibrací jsou ve vyhovujícím stavu. Hodnoty zrychlení vibrací v horizontální směru u bodu 93 při posledních dvou měření mírně vzrostly, stav je však stále vyhovující. Stav ložiska 94 je již zhoršený, avšak ustálený.

Doporučení: nadále provádět pravidelná měření, pokud dojde k rapidnímu nárůstu hodnot zrychlení vibrací, doporučuji naplánovat výměnu motoru.

5.5.4 Zubové čerpadlo (Bod C 93-94)



Obrázek 71 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 93-94) [autor]



Obrázek 72 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 94) [autor]

Rychlost vibrací byla po celou dobu měření ve stavu vyhovujícím. Pouze v horizontálním a vertikálním směru došlo při posledních dvou měření k mírnému nárůstu. Z trendů zrychlení vibrací v horizontálním a vertikálním směru lze vidět kolísání mezi pásmem B a C. Dokonce v únoru 2020 došlo k rapidnímu nárůstu zrychlení vibrací téměř k pásmu D. Nicméně při posledním měření došlo opět k poklesu pod hranici pásma C.

Doporučení: provádět pravidelná měření v kratších intervalech (nejlépe 1krát týdně). Pokud bude docházet častěji k velkým výkyvům hodnot zrychlení vibrací, bude zapotřebí čerpadlo vyměnit. Vzhledem k časté poruchovosti čerpadel Rexroth (viz čerpadla DKB A12) doporučuji nahradit čerpadly Eckerle.

6 Tribodiagnostika výrobních zařízení DKB

Na výrobních zařízeních DKB byly provedeny celkem tři odběry vzorků hydraulického oleje BonLine Hydraulic HLP. První vzorky byly odebrány v srpnu 2019 za pomoci vedoucího práce. Další odběry byly uskutečněny samostatně, a to v měsíci říjnu 2019 a v březnu 2020.

Tvářecí linky musely být před odběrem vzorků v provozu minimálně dvacet minut z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Při samotném odebrání reprezentativních vzorků se nejprve odpustilo přibližně 500 ml oleje do nádoby s použitým olejem, aby bylo zajištěno propláchnutí odběrné hadice. Poté byly provedeny odběry do čistých vzorkovnic.

Měření a vyhodnocení odebraných vzorků proběhlo v laboratoři TRIBO v prostorách VŠB – TU Ostrava. Pro zhodnocení objektivního stavu výrobních zařízení a samotného hydraulického oleje byly po domluvě s vedoucím práce zvoleny tyto testy:

- kinematická viskozita,
- obsah vody,
- kód čistoty,
- rentgenová spektrometrie,
- spektrální analýza,
- stanovení potenciálu k tvorbě úsad – MPC (při posledním měření – 5. 3. 2020).

6.1 Vyhodnocení měření na DKB A5

Odběry vzorků byly provedeny z měřicího místa v tlakové větvi potrubí dle obrázku 73. Výsledky z měření jsou uvedeny v tabulce 8.



Obrázek 73 – Odběrné místo na DKB A5 [autor]

Tabulka 8 – Výsledky z tribodiagnostického měření na DKB A5

Datum odběru vzorků	6. 8. 2019	14. 10. 2019	5. 3. 2020
Kinematická viskozita při 40 °C [mm ² /s] (ČSN EN ISO 3104)	46,01	45,91	45,03
Obsah vody [ppm] (ČSN EN ISO 12937)	0,0042	0,0038	0,0018
MPC – vyhodnocení barvy membrány [dE] (ASTM D7843)	-	-	4,1
Kód čistoty (ČSN ISO 4406/99)	16/16/14	15/14/11	10/9/8
Kód čistoty (NAS 1638)	8	7	5

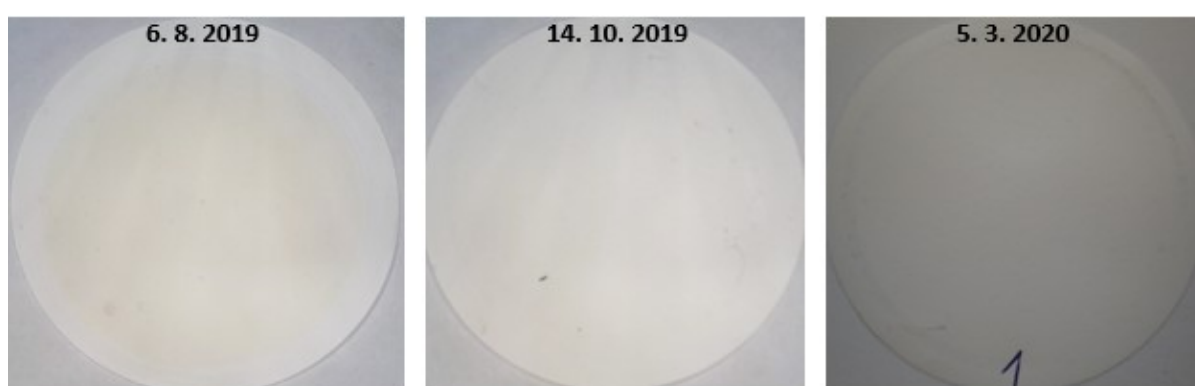
Z příložené tabulky 8 je zřejmé, že kinematická viskozita je v rozhraní přípustné tolerance $\pm 10 \%$ od referenční hodnoty hydraulického oleje HLP 46. Obsah vody a MPC parametr jsou též na minimu. Všechny zmíněné parametry jsou ve vyhovujícím stavu.

Na výrobní zařízení DKB jsou kladeny poměrně vysoké nároky na čistotu oleje z důvodu zakomponovaných proporcionálních ventilů v hydraulickém obvodu. Parker, výrobce těchto ventilů, předepisuje v technických listech maximální přípustnou čistotu 18/16/13 [23]. Tato maximální hranice byla překročena pouze po prvním měření. Po druhém a třetím měření došlo ke zlepšení tohoto parametru až do vyhovujícího stavu. Nutno podotknout, že každých 6 týdnů se při preventivní údržbě mění filtr pevných částic, a právě to je důvodem zlepšení kódu čistoty.

Dále byla provedena prvková analýza pomocí rentgenové spektrometrie. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 9. Níže je přidán i obrázek 74, na kterém jsou vidět snímky filtrů z jednotlivých měření.

Tab. 9 – Výsledky z prvkové analýzy DKB A5 (max. obsah byl stanoven vedoucím práce)

Prvek	Max. obsah [ppm]	Naměřené hodnoty [ppm], (6. 8. 2019)	Naměřené hodnoty [ppm], (14. 10. 2019)	Naměřené hodnoty [ppm], (5. 3. 2020)
Cu	25	9,2	8,3	4,2
Cr	20	9,2	8,9	6,2
Sn	30	< 3	< 3	< 3
Si	30	< 1	< 1	< 1
Pb	20	0,7	0,4	0,4
Fe	30	< 1	< 1	< 1

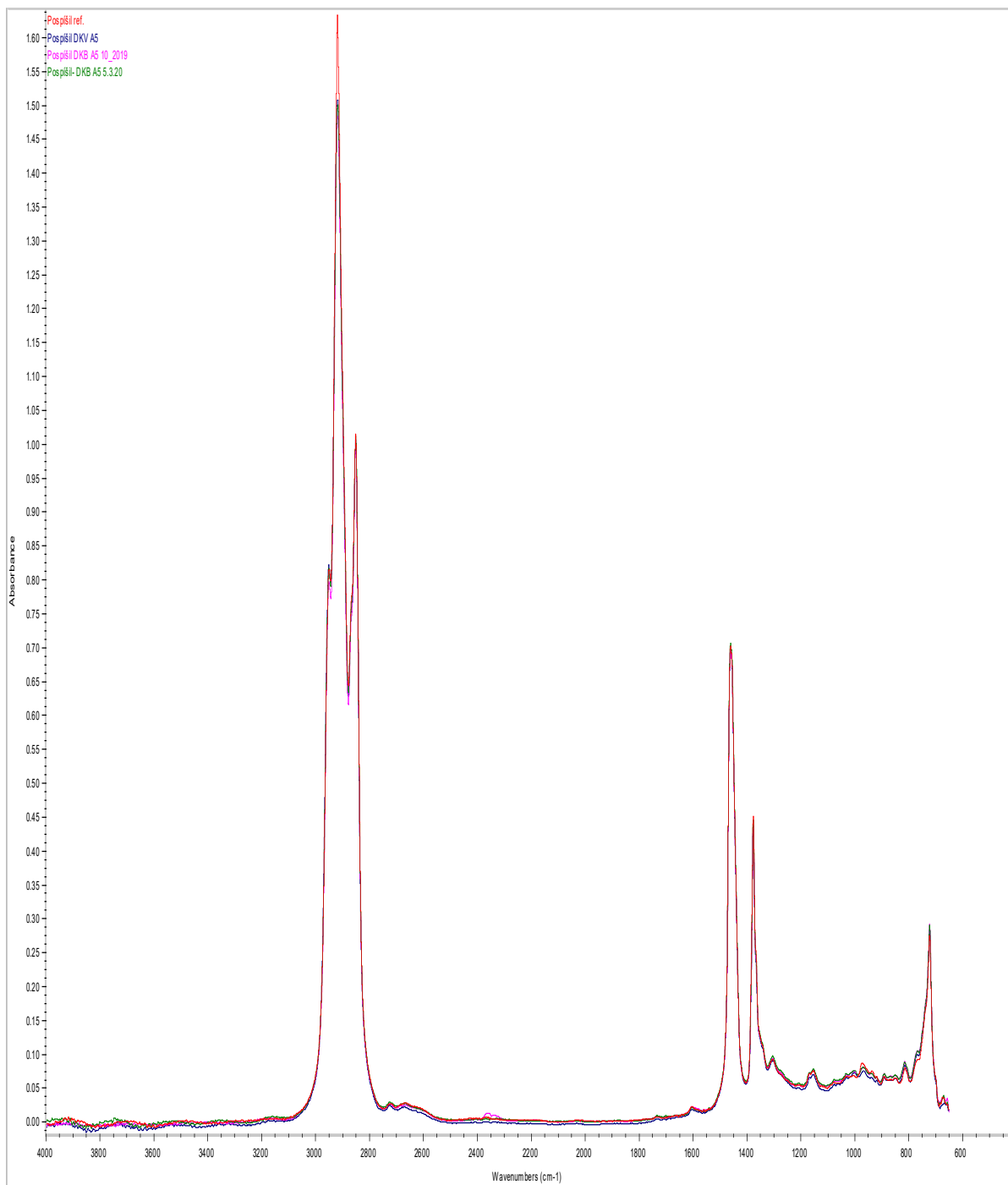


Obrázek 74 – Snímky papírových filtrů z DKB A5 [autor]

V oleji jsou nejvíce obsaženy prvky mědi a chromu. Měď se do hydraulického systému může uvolňovat opotřebením bronzových vodících kroužků pístů na hydromotorech. Co se týče chromu, ten může být obsažený v oleji jako důsledek opotřebení pístních tyčí hydromotorů, či z pokovených pístních kroužků. Nicméně limitní hodnoty u mědi a chromu nebyly

překročeny. Ostatní otěrové prvky jsou na minimu. Ze snímků papírových filtrů nelze vidět nijak zásadní rozdíl mezi jednotlivými měřeními.

Posledním testem byla metoda FTIR. Výsledek je uveden na obrázku 75. Srovnání referenčního vzorku (červená křivka) s ostatními vzorky vypovídá o tom, že nedošlo k výraznějším změnám. Po třech měření jsou křivky téměř totožné ve všech vlnových číslech. Lze konstatovat, že po posledním měření je olej v dobrém stavu.



Obrázek 75 – FTIR diagram u zařízení DKB A5 [autor]

6.2 Vyhodnocení měření na DKB A12

Odběry vzorků byly provedeny z měřicího místa v tlakové větvi potrubí dle obrázku 76. Toto odběrné místo bylo hůře přístupné, než tomu bylo u ostatních DKB. Nachází se mezi prvním a druhým tvářecím stolem ve směru od zásobníku. Odběr byl proveden v době, kdy tvářecí linka nevyráběla. Hydraulický obvod byl spuštěn do ručního režimu po dobu třiceti minut, aby bylo zajištěno promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Výsledky z měření jsou uvedeny v tabulce 10.



Obrázek 76 – Odběrné místo na DKB A12 [autor]

Tabulka 10 – Výsledky z tribodiagnostického měření na DKB A12

Datum odběru vzorků	6. 8. 2019	14. 10. 2019	5. 3. 2020
Kinematická viskozita při 40 °C [mm ² /s] (ČSN EN ISO 3104)	45,11	46,11	48,06
Obsah vody [ppm] (ČSN EN ISO 12937)	0,0069	0,0064	0,0026
MPC – vyhodnocení barvy membrány [dE] (ASTM D7843)	-	-	5,4
Kód čistoty (ČSN ISO 4406/99)	16/15/12	16/15/13	15/14/11
Kód čistoty (NAS 1638)	7	9	9

Hodnoty kinematické viskozity, obsahu vody a MPC parametru jsou obdobně jako u DKB A5 v rozhraní přípustné tolerance.

Kódy čistoty značí zhoršující se trend po dvou měření. U normy ČSN ISO 4406/99 je to způsobeno nárůstem částic $\geq 14 \mu\text{m}$ o jednu třídu (z 12 na 13). Norma NAS 1638 eviduje největší nárůst částic o velikosti $25 \leq 50 \mu\text{m}$, přitom po prvním měření nebyly zaznamenány žádné částice této velikosti.

Po posledním měření došlo ke zlepšení kódu čistoty podle normy ČSN ISO 4406/99. Problém nadále zůstává u NAS 1638. Olej je klasifikován do třídy 9 z důvodu nárůstu počtu částic o velikosti $50 \leq 100 \mu\text{m}$.

Doporučení: Kód čistoty dle NAS 1638 vykazuje po třech měření nevyhovující stav, způsobený vysokým obsahem velkých částic v oleji. Doporučuji provést filtraci pevných částic v nejbližším možném termínu. Pokud nedojde k doporučené akci, může dojít k poškození proporcionálních ventilů, které jsou drahé a velice náchylné na nečistoty v oleji, mohou se zasekávat nebo přímo poškodit.

Dalším provedeným testem byla rentgenová spektrometrie. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 11. Dále je přidán obrázek 77, na kterém jsou uvedeny snímky filtrů z jednotlivých měření.

Tabulka 11 – Výsledky z prvkové analýzy DKB A12 (maximální obsah byl stanoven vedoucím práce)

Prvek	Max. obsah [ppm]	Naměřené hodnoty [ppm], (6. 8. 2019)	Naměřené hodnoty [ppm], (14. 10. 2019)	Naměřené hodnoty [ppm], (5. 3. 2020)
Cu	25	10,2	10,9	4,5
Cr	20	9,1	8,1	6,8
Sn	30	< 3	< 3	< 3
Si	30	< 1	< 1	< 1
Pb	20	1,1	0,7	0,4
Fe	30	< 1	< 1	< 1

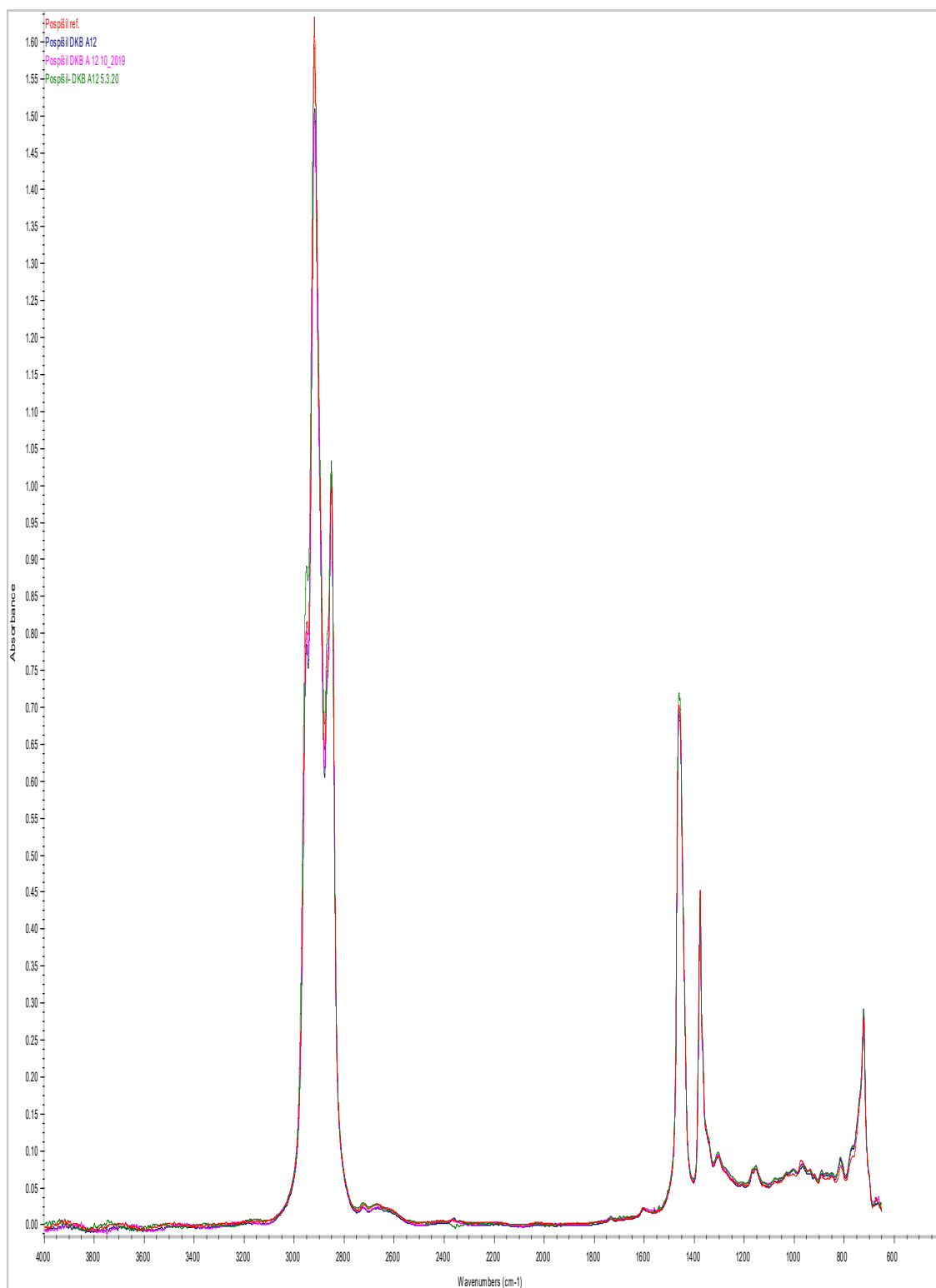


Obrázek 77 – Snímky papírových filtrů z DKB A12 [autor]

Podobný scénář výsledků jako v případě DKB A5. V oleji jsou nejvíce obsaženy prvky mědi a chromu. Pravděpodobně je to způsobeno opotřebím vodících kroužků pístů a pístních tyčí na hydromotorech. Limitní obsah však u žádných z otěrových prvků nebyl překročen. Snímky papírových filtrů též nevykazují žádnou abnormalitu.

Výstup metody FTIR je uveden na obrázku 78. Červená křivka reprezentující referenční vzorek oleje je téměř totožná s ostatními křivkami, které odpovídají jednotlivým měřením. Uvedený diagram nepoukazuje na žádný problém.

Ze všech provedených testů nastal problém pouze u kódu čistoty dle NAS 1638. Pro vyřešení tohoto problému bylo doporučeno přefiltrování oleje. Ostatní parametry jsou v dobrém stavu.



Obrázek 78 – Výstupní diagram z FTIR analýzy u zařízení DKB A12 [autor]

6.3 Vyhodnocení měření na DKB A14

Odběry vzorků byly provedeny z měřicího místa v tlakové větvi potrubí dle obrázku 79, kde je též vidět černé zabarvení odebraného vzorku oleje.

Zčernání oleje může být způsobeno tepelným namáháním či oxidací. Stačí, aby v systému bylo několik zúžených míst, kde dochází k lokálnímu zahřívání oleje. V těchto místech mohou vznikat usazení, které jsou projevem teplotní degradace. To však hned nemusí znamenat, že všechny olej je zapotřebí vyměnit.

Proto bylo nutné provést analýzu reprezentativního vzorku oleje a přesvědčit se o jeho kondici. Výsledky z měření jsou uvedeny v tabulce 12.



Obrázek 79 – Odběrné místo na DKB A14 [autor]

Tabulka 12 – Výsledky z tribodiagnostického měření na DKB A14

Datum odběru vzorků	6. 8. 2019	14. 10. 2019	5. 3. 2020
Kinematická viskozita při 40 °C [mm ² /s] (ČSN EN ISO 3104)	45,85	46,35	48,04
Obsah vody [ppm] (ČSN EN ISO 12937)	0,0224	0,0016	0,0033
MPC – vyhodnocení barvy membrány [dE] (ASTM D7843)	-	-	11,9
Kód čistoty (ČSN ISO 4406/99)	16/15/12	15/14/13	14/13/9
Kód čistoty (NAS 1638)	7	9	6

Na první pohled vypadají výsledky po dvou měření podobně jako u předchozích DKB. Kinematická viskozita a obsah vody jsou v přípustné toleranci. Kódy čistoty vykazují po dvou měření zhoršující trend. Nicméně bylo zapotřebí porovnat i nadcházející parametry.

U DKB A14 byly vypořádovány dva rozdíly ve srovnání s DKB A5 a DKB A12. První rozdíl je patrný z prvkové analýzy, kde byl překročen limit obsahu mědi (viz tabulka 13). Druhý

rozdíl je možno vidět na snímcích papírových filtrů (obrázek 80), které jsou zaneseny vysokým obsahem měkkých kalů (papírové filtry z prvních dvou měření).

Pro další porovnání vzorků je přidán obrázek 81, na kterém jsou uvedeny vzorky filtrů s obsahem měkkého znečištění a kritické rozhraní pásem pro MPC parametr. Tento parametr hodnotí náchylnost k tvorbě úsad (měkkých kalů).

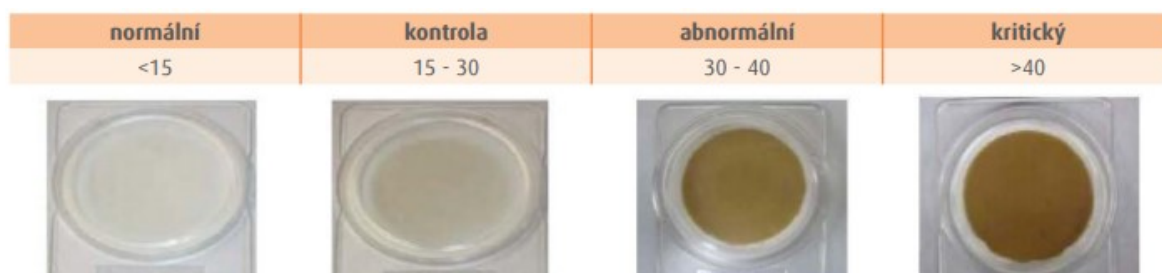
Měkké kaly jsou výsledkem degradace oleje, zejména působením zvýšených teplot a kyslíku. Mají schopnost zanášet potrubí a způsobují nadměrné opotřebení ventilů, čerpadel, hydromotorů, rozváděčů, chladičů, ucpávek apod. To znamená, že výrazně zvyšují náklady na provoz a prostoje z důvodu častých závad [24], [25].

Tabulka 13 – Výsledky z prvkové analýzy DKB A14 (maximální obsah byl stanoven vedoucím práce)

Prvek	Max. obsah [ppm]	Naměřené hodnoty [ppm], (6. 8. 2019)	Naměřené hodnoty [ppm], (14. 10. 2019)	Naměřené hodnoty [ppm], (5. 3. 2020)
Cu	25	25,2	22,8	9,3
Cr	20	8,6	8,4	6,4
Sn	30	< 3	< 3	< 3
Si	30	< 1	< 1	< 1
Pb	20	0,8	0,5	< 0,1
Fe	30	< 1	< 1	< 1



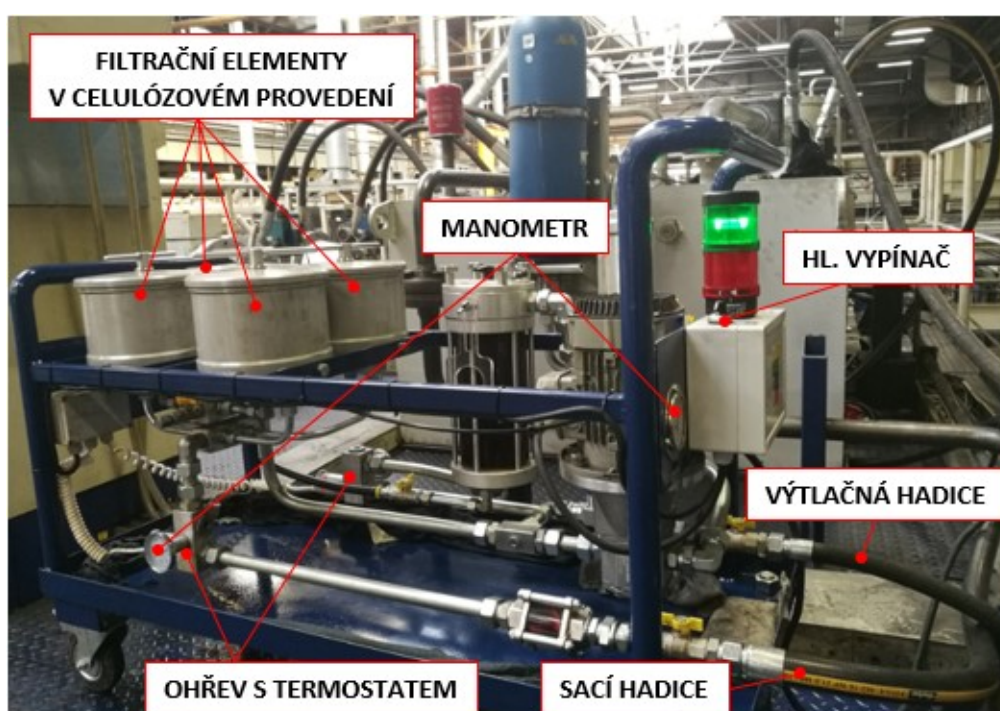
Obrázek 80 - Snímky papírových filtrů z DKB A14 [autor]



Obrázek 81 – Kritické rozhraní pásem pro MPC parametr [26]

Porovnáním obrázků 80 a 81 je možno stav oleje považovat za abnormální až kritický (po prvních dvou měření). Dalším problémem byl vysoký obsah mědi, který je patrný z prvkové analýzy (tabulka 13). Z těchto důvodů bylo výrobní společnosti doporučeno přefiltrovat olej. Proto dne 13. února 2020 byla na výrobní zařízení DKB A14 nainstalována filtrační stanice na měkké kaly (obrázek 82). Technické parametry filtrační stanice jsou uvedeny v tabulce 14.

Sací i výtlačná hadice filtrační stanice byly umístěny do otvoru pro vzduchový filtr z horní strany nádrže. Otvor, kde byly vloženy sací i výtlačná hadice, byl utěsněn čistým hadrem, aby nedošlo k vniknutí prachu či jiných nečistot do nádrže. Olej byl filtrován nepřetržitě po dobu 10 dnů, nezávisle na výrobě. Filtrační stanice byla vybavena samostatným ohřevem s termostatem. Pokud výrobní zařízení nebylo v režimu výroby, olej byl ohříván ohřívačem filtrační stanice.



Obrázek 82 – Mobilní filtrační stanice 10 A [autor]

Tabulka 14 – Technické parametry filtrační stanice 10 A

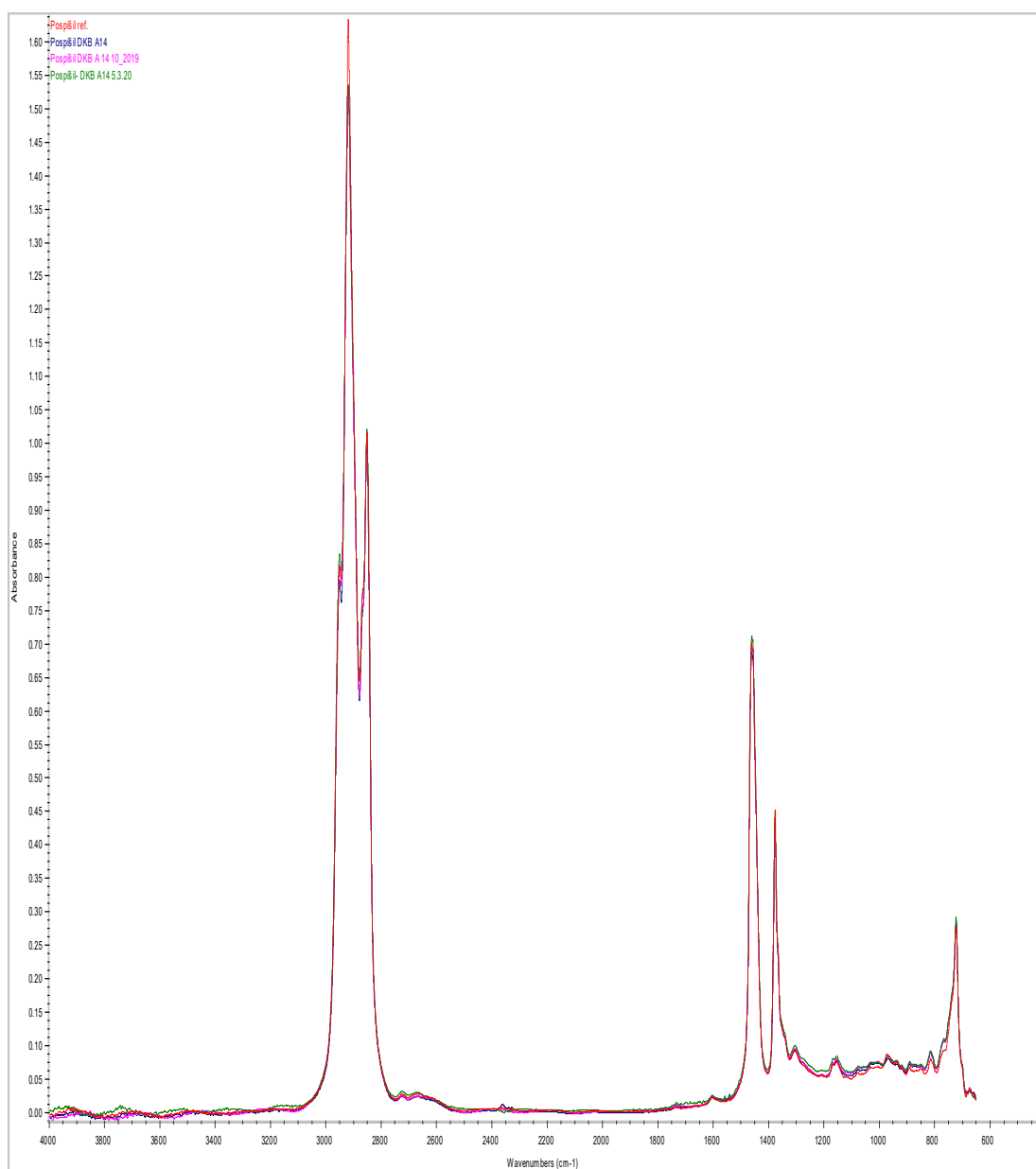
Počet filtračních elementů v celulózovém provedení	4 ks
Pórovitost filtrů	1, 3 a 5 μm
Schopnost filtrů absorbovat vodu	až 70 ppm
Průtok	12 l/min
Provozní tlak	6 bar

Bezprostředně po filtraci byl odebrán k rozboru třetí vzorek. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 12 a 13.

Z výsledků lze vypožorovat, že hodnoty kódu čistoty (tabulka 12) a obsahu mědi (tabulka 13) se po filtraci rapidně zlepšily – vyhovující stav. Zlepšení je patrné i z obrázku 80, kde snímek filtru z posledního měření nevykazuje tak vysoký obsah měkkých kalů jako v předchozích měření.

Pro určení konkrétní hodnoty MPC byl při třetím měření proveden test pomocí kolorimetrického zařízení, který je schopen měřit barevnou odchylku nového a použitého filtru a přímo ze zařízení odečíst hodnotu. Výsledná hodnota MPC parametru po posledním měření je 11,4 dE, což dle obrázku 81 lze považovat na normální stav.

Pro úplnost výsledků byla i u DKB A14 provedena FTIR analýza. Výstupní diagram je uveden na obrázku 83. Stejně jako u předchozích DKB, všechny barevné křivky reprezentující jednotlivá měření jsou téměř shodné s referenční červenou křivkou. Z této metody není patrný žádný problém.



Obrázek 83 - Výstupní diagram z FTIR analýzy u zařízení DKB A14 [autor]

7 Závěr

Hlavní přínos technické diagnostiky pro výrobní společnosti představuje zvýšení provozní spolehlivosti strojních zařízení. Díky sledování jejich kondice lze odhadovat zbytkovou životnost, popřípadě naplánovat odstávku kvůli vadné součásti a tím zabránit případné havárii. Cílem diplomové práce bylo zhodnotit kondici klíčových prvků hydraulického systému výrobních zařízení DKB a vybrat proto vhodné metody technické diagnostiky. Celá práce je rozvržena do čtyř hlavních částí.

První část se soustřeďuje na řešerši dané problematiky. Jsou tu uvedeny nejpoužívanější metody technické diagnostiky. Podrobněji byly popsány dvě metody, vibrodiagnostika a tribodiagnostika, které byly použity k měření a vyhodnocení.

Druhá část popisuje hydraulické agregáty výrobních zařízení DKB. Důkladněji jsou specifikovány klíčové prvky hydraulického systému: elektromotory, zubová čerpadla a hydraulický olej, u kterých jsou uvedeny technické parametry spolu s dalšími zajímavostmi.

Ve třetí části již začíná vyhodnocení z vibrodiagnostických měření. U všech DKB byly vyzorovány problémy na elektromotorech. Vždy šlo o vady na ložiscích. Na zubových čerpadlech DKB A12 a DKB A14 byly navíc opakovaně naměřeny vysoké hodnoty zrychlení vibrací. Dokonce u DKB A12 byly hodnoty zrychlení natolik vysoké, že muselo být čerpadlo vyměněno za nové. Nebylo schopno vyprodukovat dostatečný tlak do systému, a navíc vykazovalo nadměrnou hlučnost. Mnohem spolehlivější byla čerpadla na DKB A5, kde nebyl zaznamenán žádný problém.

Poslední část prezentuje výsledky z tribodiagnostických měření. V nejlepší kondici je olej na DKB A5, kde po posledním měření jsou všechny hodnoty ve vyhovujícím stavu. U DKB A12 nastal problém u kódu čistoty dle NAS 1638, kde byl zjištěný vysoký obsah částic o velikosti $50 \leq 100 \mu\text{m}$. Pro vyřešení tohoto problému bylo doporučeno přefiltrování oleje. V nejhorším stavu byl olej na DKB A14, kde bylo po dvou měření vyzkoumáno vysoký obsah měkkých kalů a vysoký obsah mědi. Následně byla provedena filtrace po dobu deseti dnů. Výsledky z posledního měření ukázaly, že díky doporučenému přefiltrování se stav oleje zlepšil. Množství měkkých kalů, stejně jako obsah mědi a další zkoumané parametry jsou ve vyhovujícím stavu.

8 Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [2] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-883-6.
- [3] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej: teorie a praktyka*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. 134 s. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [4] ČSN ISO 18434-1. *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Termografie – Část 1: Všeobecné postupy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 28 s.
- [5] BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. *Aplikovaný mechanik jako součást týmů konstruktérů a vývojářů: Část vibrační diagnostika: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. 142 s. ISBN 978-80-248-2755-1.
- [6] Měření vibrací pro diagnostiku opotřebení strojů | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 07.02.2020]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>
- [7] *Odborné časopisy* [online]. Copyright © [cit. 10.02.2020]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>
- [8] TŮMA, Jiří. *Diagnostika strojů, 1. vyd.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. 138 s. ISBN 978-80-248-2116-0.
- [9] HEISIG, Lukáš. *Monitoring vibrací strojních zařízení pomocí technologie ifm electronic: Workshop ifm electronic*. 2019. 44 s.
- [10] ŠVARC, Martin. Oleje pro moderní hydraulické systémy. *Tribotechnika*. Bratislava, 2017, 10(3/2017), 14-15. ISSN 1338-0524.
- [11] ČSN EN ISO 3104. *Ropné výrobky – Průhledné a neprůhledné kapaliny – Stanovení kinematické viskozity a výpočet dynamické viskozity*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 20 s.
- [12] ČSN EN ISO 12937. *Ropné výrobky – Stanovení vody – Coulometrická titrační metoda podle Karl Fischera*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 s.
- [13] ČSN ISO 4406. *Hydraulické kapaliny – Kapaliny – Metoda kódování úrovně znečištění pevnými částicemi*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 12 s.
- [14] NOVÁČEK, Vladimír. *Kontrola stavu provozních kapalin: Seminář Kapaliny pro hydraulické systémy, specifikace jejich použití, základní parametry, kontrola stavu a údržba*. 50 s.

- [15] CHALÁNEK, Ladislav. *Multiparametrická diagnostika obráběcího centra* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/136946>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [16] Bosch Rexroth AG. *Internal gear pump, fixed displacement, Type PGH* [online]. Dostupné z: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/re10227_2018-08.pdf?db=brmv2&lvid=1207512&mvid=14505&clid=20&sid=8AC99537E860F546B0DFF2ACC76D34B7.s142-vm&sch=M&id=14505,20,1207512
- [17] Eckerle Industrie-Elektronik. *EIPH2 EIPH3 EIPH6 Internal gear pumps* [online]. Copyright © [cit. 16.3.2020]. Dostupné z: https://www.hydraulics-brno.cz/wp-content/uploads/EIPH_2_3_6-engl.pdf
- [18] H. Bloch. *Technický list: BonLine Hydraulic HLP*.
- [19] ADASH s.r.o. *Uživatelský manuál: Adash 4900 – Vibrio M obsahuje expertní systém FASIT*. Ostrava. 62 s.
- [20] ČSN ISO 10816-3. *Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření in situ*, 2010. 20 s.
- [21] 11. Vady s poškození ložisek | ZKL Group. *ZKL Group* [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [cit. 15.04.2020]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/11-vady-s-poskozeni-lozisek>
- [22] *Sdružení českých zkušeben a laboratoří, z.s. SCZL* [online]. Copyright © [cit. 15.04.2020]. Dostupné z: <https://www.sczl.cz/download/download/2011-boretice/13-zkl-kotlan-vady-lozisek.pdf>
- [23] Parker. *Technický list: Direct Operated Proportional DC Valve*. Copyright © [cit. 27.04.2020]. Dostupné z: http://images.solutions.parker.com/Web/Parker/%7B1ece1e8d-2bc4-41a6-9f1d-b7466fd4fbe4%7D_katalog-hydraulicky-proporcionalni-neprimo-ovladany-ventil-D1FC_UK-prosinec-2016.pdf
- [24] Odstraňování měkkých kalů z průmyslových olejů. *Tribotechnika*. Bratislava, 2015, 8(4/2015), 43. ISSN 1338-0524.
- [25] Spolehlivost strojů vyjádřená normou ASTM D7843. *Nejčtenější strojírenský časopis – MM spektrum* [online]. Copyright © 2020 www.mmspektrum.com [cit. 07.05.2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/spolehlivost-stroju-vyjadrena-normou-astm-d7843.html>
- [26] ALS Tribology. *Rozbor hydraulického oleje. Preventivní údržba strojů pomocí analýz olejů*. Copyright © [cit. 07.05.2020]. Dostupné z: <https://www.alsglobal.cz/media-cz/pdf/tribo/rozbor-hydraulickeho-oleje.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Frekvenční rozsahy měření jednotlivých veličin	12
Obrázek 2 – Umístění sond na principu vířivých proudů [3]	13
Obrázek 3 – Zobrazení orbitů rotoru turbokompresoru [3]	14
Obrázek 4 – Podstata Rychlé Fourierové transformace [5]	15
Obrázek 5 – Postupný vývoj poškozeného ložiska v pásmu 500–16000 Hz [autor]	16
Obrázek 6 – Zařízení pro stálou teplotu oleje [autor]	19
Obrázek 7 – Viskozimetr typu Ubbelohde [autor]	19
Obrázek 8 - Coulometr WTD s destilační píčkou [autor]	20
Obrázek 9 – Filtrační zařízení [autor]	22
Obrázek 10 – Mikroskop propojený se softwarem LAMBDA SOFT 2007 [autor]	22
Obrázek 11 – Spectro Xepos – XRF [autor]	23
Obrázek 12 – Příklad výstupní tabulky [autor]	23
Obrázek 13 – Krystal selenidu zinečnatého [autor]	24
Obrázek 14 – Přístroj pro FT – IR analýzu [autor]	24
Obrázek 15 – Hlavní částí hydraulického agregátu na DKB A5 [autor]	25
Obrázek 16 – Hlavní částí hydraulického agregátu na DKB A12 [autor]	26
Obrázek 17 – Hlavní částí hydraulického agregátu na DKB A14 [autor]	26
Obrázek 18 – Hlavní elektromotory na DKB A14 s vyznačenými měřicími body [autor]	28
Obrázek 19 – Řez zubových čerpadel: vlevo – ECKERLE [17], vpravo – REXROTH [16] ..	28
Obrázek 20 – Označení zubových čerpadel na DKB A14 s vyznačenými měřicími místy [autor]	29
Obrázek 21 – Analyzátor ADASH 4900 - Vibrio M včetně příslušenství [19]	31
Obrázek 22 – Pracovní prostředí softwaru DDS 2016	32
Obrázek 23 – Označení elektromotorů včetně zubových čerpadel na DKB A5 [autor]	33
Obrázek 24 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 13) [autor]	34
Obrázek 25 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 13) [autor]	34
Obrázek 26 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 13) [autor]	35
Obrázek 27 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 14) [autor]	35
Obrázek 28 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 14) [autor]	36
Obrázek 29 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 14 H) [autor]	36
Obrázek 30 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 13 [autor]	37

Obrázek 31 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 14 [autor]	37
Obrázek 32 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 13-14) [autor]	38
Obrázek 33 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 13-14) [autor]	38
Obrázek 34 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 15) [autor]	39
Obrázek 35 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 15) [autor]	39
Obrázek 36 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 16) [autor]	40
Obrázek 37 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 16) [autor]	40
Obrázek 38 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 15-16) [autor]	41
Obrázek 39 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 15-16) [autor]	41
Obrázek 40 – Označení elektromotorů včetně zubových čerpadel na DKB A12 [autor]	42
Obrázek 41 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 5) [autor]	43
Obrázek 42 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 5) [autor]	43
Obrázek 43 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 5) [autor]	44
Obrázek 44 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 6) [autor]	44
Obrázek 45 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 6) [autor]	45
Obrázek 46 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 6) [autor]	45
Obrázek 47 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 5 [autor]	46
Obrázek 48 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 6 [autor]	46
Obrázek 49 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 5-6) [autor]	47
Obrázek 50 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 5-6) [autor]	47
Obrázek 51 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 7) [autor]	48
Obrázek 52 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 7) [autor]	48
Obrázek 53 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 8) [autor]	49
Obrázek 54 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 8) [autor]	49
Obrázek 55 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 7-8) [autor]	50
Obrázek 56 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 7-8) [autor]	50
Obrázek 57 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod C 7-8) [autor]	51
Obrázek 58 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 91) [autor]	52
Obrázek 59 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 91) [autor]	52
Obrázek 60 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 92) [autor]	53
Obrázek 61 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 92) [autor]	53

Obrázek 62 – Kaskáda spekter zrychlení Demod-Envelope 500 - 16 000 Hz, 800 čar, 400 Hz, (Bod 92) [autor]	54
Obrázek 63 – Detail vnitřního a vnějšího kroužku ložiska 91[autor]	54
Obrázek 64 – Vady na vnitřním a vnějším kroužku ložiska 92 [autor]	55
Obrázek 65 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 91-92) [autor]	55
Obrázek 66 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod C 91-92) [autor]	56
Obrázek 67 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 93) [autor]	56
Obrázek 68 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 93) [autor]	57
Obrázek 69 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod 94) [autor]	57
Obrázek 70 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 94) [autor]	58
Obrázek 71 – Trendy rychlosti vibrací v pásmu 10–1000 Hz (Bod C 93-94) [autor]	58
Obrázek 72 – Trendy zrychlení vibrací v pásmu 500-16000 Hz (Bod 94) [autor]	59
Obrázek 73 – Odběrné místo na DKB A5 [autor]	60
Obrázek 74 – Snímky papírových filtrů z DKB A5 [autor]	61
Obrázek 75 – FTIR diagram u zařízení DKB A5 [autor]	62
Obrázek 76 – Odběrné místo na DKB A12 [autor]	63
Obrázek 77 – Snímky papírových filtrů z DKB A12 [autor]	64
Obrázek 78 – Výstupní diagram z FTIR analýzy u zařízení DKB A12 [autor]	65
Obrázek 79 – Odběrné místo na DKB A14 [autor]	66
Obrázek 80 - Snímky papírových filtrů z DKB A14 [autor]	67
Obrázek 81 – Kritické rozhraní pásem pro MPC parametr [26]	67
Obrázek 82 – Mobilní filtrační stanice 10 A [autor]	68
Obrázek 83 - Výstupní diagram z FTIR analýzy u zařízení DKB A14 [autor]	69

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Technické parametry hl. elektromotorů na všech DKB	28
Tabulka 2 – Technické parametry zubových čerpadel na všech DKB [16], [17]	29
Tabulka 3 – Základní fyzikálně-chemické vlastnosti oleje BonLine Hydraulic HLP [18]	30
Tabulka 4 – Technické parametry analyzátoru Adash 4900 - Vibrio M [19]	31
Tabulka 5 – Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816-3, pružné uložení [20]	32
Tabulka 6 – Doporučené hodnoty zrychlení vibrací – aRMS [g] v pásmu 500-16000 Hz pro elektromotory na všech DKB (Doporučeno od vedoucího práce)	32
Tabulka 7 – Doporučené hodnoty zrychlení vibrací – aRMS [g] v pásmu 500–16000 Hz pro zubová čerpadla na všech DKB (Doporučeno výrobní společností dle dlouhodobé analýzy měření zubových čerpadlech DKB)	33
Tabulka 8 – Výsledky z tribodiagnostického měření na DKB A5	60
Tabulka 9 – Výsledky z prvkové analýzy DKB A5 (maximální obsah byl stanoven vedoucím práce)	61
Tabulka 10 – Výsledky z tribodiagnostického měření na DKB A12	63
Tabulka 11 – Výsledky z prvkové analýzy DKB A12 (maximální obsah byl stanoven vedoucím práce)	64
Tabulka 12 – Výsledky z tribodiagnostického měření na DKB A14	66
Tabulka 13 – Výsledky z prvkové analýzy DKB A14 (maximální obsah byl stanoven vedoucím práce)	67
Tabulka 14 – Technické parametry filtrační stanice 10 A	68

Seznam příloh

Příloha A – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A5 (6. 8. 2019)

Příloha B – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A5 (14. 10. 2019)

Příloha C – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A5 (5. 3. 2020)

Příloha D – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A12 (6. 8. 2019)

Příloha E – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A12 (14. 10. 2019)

Příloha F – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A12 (5. 3. 2020)

Příloha G – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A14 (6. 8. 2019)

Příloha H – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A14 (14. 10. 2019)

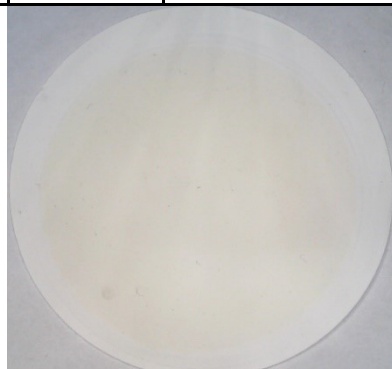
Příloha I – Protokol z tribodiagnostického měření – DKB A14 (5. 3. 2020)

DKB A5

VZOREK

Číslo	1
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2		HLP	
Název	DKB		Specifikace ISO		VG 46	
Typ-číslo stroje	A5		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Tlaková větev u hl. motorů.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:		Pospíšil	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		6.8.2019	
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	46,01
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0042
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	neměřeno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	16/16/14
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	8
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	9,2
obsah chromu (Cr)				12,5	20	9,2
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,7
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		10830
obsah fosforu (P)				443,5		708,4
obsah sodíku (Na)				5109		< 1005
obsah zinku (Zn)				426		571,8
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

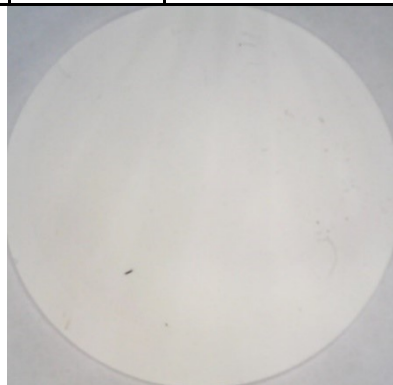


DKB A5

VZOREK

Číslo	2
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2		HLP	
Název	DKB		Specifikace ISO		VG 46	
Typ-číslo stroje	A5		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Tlaková větev u hl. motorů.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:		Pospíšil	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		14.10.2019	
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	45,91
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0038
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	neměřeno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	15/14/11
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	7
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	8,3
obsah chromu (Cr)				12,5	20	8,9
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,4
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		9676
obsah fosforu (P)				443,5		676,2
obsah sodíku (Na)				5109		1632
obsah zinku (Zn)				426		553,9
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

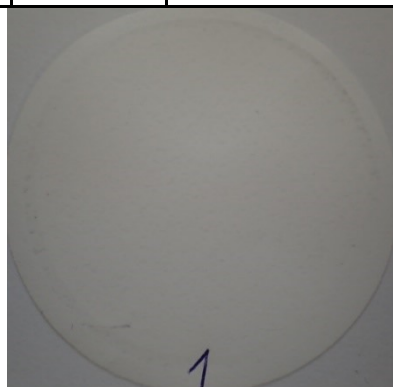


DKB A5

VZOREK

Číslo	3
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2		HLP	
Název	DKB		Specifikace ISO		VG 46	
Typ-číslo stroje	A5		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Tlaková větev u hl. motorů.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:		Pospíšil	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		5.3.2020	
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	45,03
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0018
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	4,1
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	10/9/8
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	5
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	4,2
obsah chromu (Cr)				12,5	20	6,2
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,4
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		5060
obsah fosforu (P)				443,5		342
obsah sodíku (Na)				5109		1003
obsah zinku (Zn)				426		279,8
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

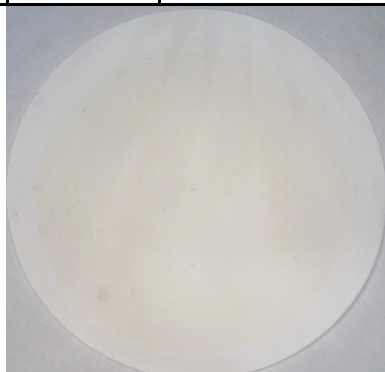


DKB A12

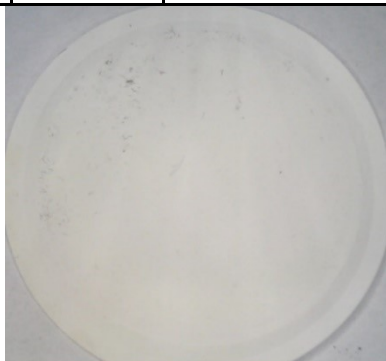
VZOREK

Číslo	1
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2			HLP
Název	DKB		Specifikace ISO			VG 46
Typ-číslo stroje	A12		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Mezi 1. a 2. tvářecím stolem.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:			Pospíšil
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			6.8.2019
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	45,11
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0069
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	neměřeno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	16/15/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	7
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	10,2
obsah chromu (Cr)				12,5	20	9,1
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	1,1
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		11100
obsah fosforu (P)				443,5		685,4
obsah sodíku (Na)				5109		1449
obsah zinku (Zn)				426		533,1
obsah vápníku (Ca)				43		< 10



DKB A12			VZOREK			
			Číslo		2	
			Typ oleje		Hydraulický	
			Název:		BonLine Hydraulic HLP	
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2		HLP	
Název	DKB		Specifikace ISO		VG 46	
Typ-číslo stroje	A12		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Mezi 1. a 2. tvářecím stolem.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:		Pospíšil	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		14.10.2019	
Parametr kvality	Rozměř	Metoda	Pořadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	46,11
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0064
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	neměřeno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	16/15/13
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	9
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	10,9
obsah chromu (Cr)				12,5	20	8,1
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,7
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		10460
obsah fosforu (P)				443,5		670,4
obsah sodíku (Na)				5109		1731
obsah zinku (Zn)				426		524,1
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

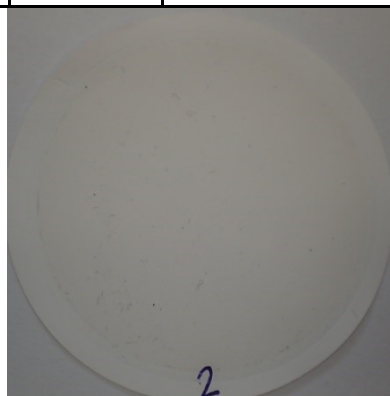


DKB A12

VZOREK

Číslo	3
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2			HLP
Název	DKB		Specifikace ISO			VG 46
Typ-číslo stroje	A12		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Mezi 1. a 2. tvářecím stolem.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:			Pospíšil
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			5.3.2020
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	48,06
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0026
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	-		15	35	5,4
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	15/14/11
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	9
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	4,5
obsah chromu (Cr)				12,5	20	6,8
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,4
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		5457
obsah fosforu (P)				443,5		337,5
obsah sodíku (Na)				5109		954
obsah zinku (Zn)				426		263,3
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

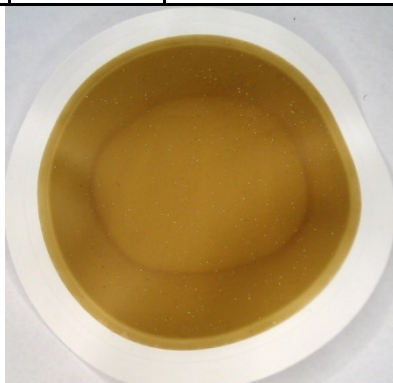


DKB A14

VZOREK

Číslo	1
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2		HLP	
Název	DKB		Specifikace ISO		VG 46	
Typ-číslo stroje	A14		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Tlaková větev u hl. motorů.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:		Pospíšil	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		6.8.2019	
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	45,85
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0224
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	neměřeno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	16/15/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	7
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	25,2
obsah chromu (Cr)				12,5	20	8,6
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,8
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		11390
obsah fosforu (P)				443,5		708,6
obsah sodíku (Na)				5109		1678
obsah zinku (Zn)				426		498,7
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

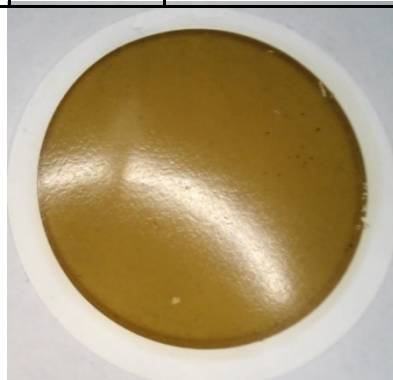


DKB A14

VZOREK

Číslo	2
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2			HLP
Název	DKB		Specifikace ISO			VG 46
Typ-číslo stroje	A14		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Tlaková větev u hl. motorů.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:			Pospíšil
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			14.10.2019
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	46,35
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0016
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	ASTM D7843		15	40	neměřeno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	15/14/13
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	9
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	22,8
obsah chromu (Cr)				12,5	20	8,4
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	0,5
Aditiva, degradace				Referenční vzorek	hodnota	
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126	10290	
obsah fosforu (P)				443,5	666,7	
obsah sodíku (Na)				5109	1683	
obsah zinku (Zn)				426	416,1	
obsah vápníku (Ca)				43	< 10	



DKB A14

VZOREK

Číslo	3
Typ oleje	Hydraulický
Název:	BonLine Hydraulic HLP

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN 51524/2			HLP
Název	DKB		Specifikace ISO			VG 46
Typ-číslo stroje	A14		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulický obvod		Místo odběru: Tlaková větev u hl. motorů.			
Množství provozní náplně	1250 l		Dodal:			Pospíšil
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka filtru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			5.3.2020
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	48,04
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0033
MPC (kolorimetrie membrán)	dE	-		15	35	11,9
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	14/13/9
Kód čistoty	-	NAS 1638		7	8	6
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah železa (Fe)	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah mědi (Cu)				15	25	9,3
obsah chromu (Cr)				12,5	20	6,4
obsah cínu (Sn)				10	30	< 3
obsah křemíku (Si)				20	30	< 1
obsah olova (Pb)				12,5	20	< 0,1
Aditiva, degradace				Referenční vzorek		hodnota
obsah síry (S)	ppm (mg/kg)	metodika		2126		5323
obsah fosforu (P)				443,5		327,1
obsah sodíku (Na)				5109		990
obsah zinku (Zn)				426		125,2
obsah vápníku (Ca)				43		< 10

